

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DE
MINÉRALOGIE
ET DE
CRISTALLOGRAPHIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886

OUVRAGE PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

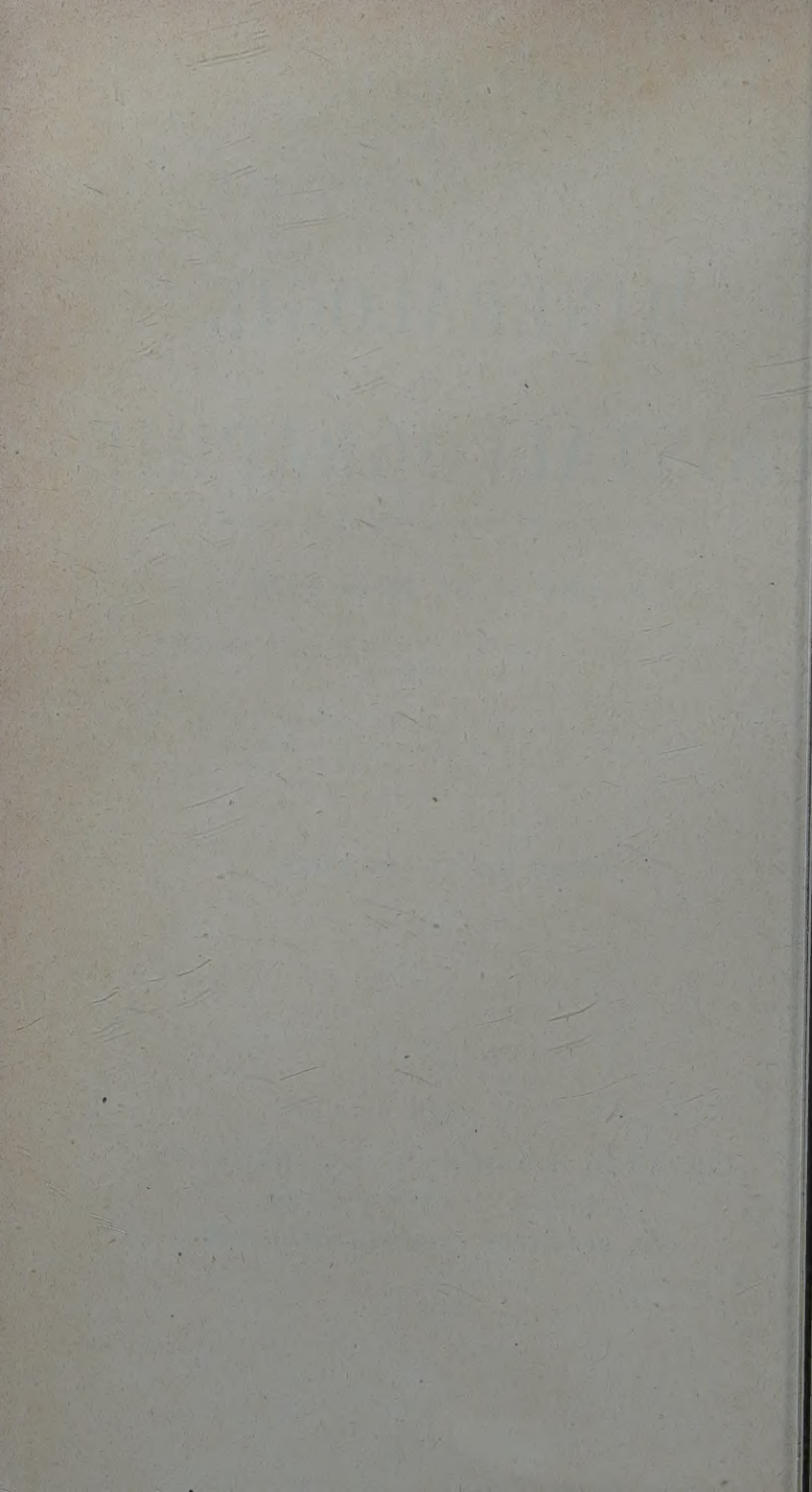
TOME SOIXANTE-SEIZE

PARIS
LIBRAIRIE MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, boulevard Saint-Germain, 120

1953



**ÉTUDE AUX RAYONS X
DES DIMENSIONS DES DOMAINES DE BRAGG
DANS LES POUDRES POLYCRISTALLINES.**

**APPLICATION A L'ÉTUDE DE LA TEXTURE
T STRUCTURE DE POUDRES DE FER PYROPHORIQUES
ET DE LEURS PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES (II)**

PAR E.-F. BERTAUT.

PARTIE II

**ÉTUDE DE LA TEXTURE
ET
STRUCTURE DE POUDRES DE FER PYROPHORIQUES
ET DE LEURS PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES**

Sommaire. — On étudie aux rayons X le mécanisme des réactions conduisant du formiate ferreux au fer pyrophorique et, grâce aux méthodes de mesures de dimensions cristallines, développées dans la première partie (1), on suit la croissance des cristallites de fer en fonction de la température de préparation. D'après l'étude cinétique de l'absorption d'oxygène par diffusion lente et de l'action de l'eau, la surface calculée des cristallites, dans les poudres pyrophoriques se confond pratiquement avec la surface chimiquement active. Cela explique la pyrophoricité et les phénomènes liés à l'énergie de surface (excès de chaleur de dissolution). Le champ coercitif passe par un maximum de l'ordre de 4.000 gauss pour une dimension cristalline voisine de 200 Å. D'une comparaison avec d'autres poudres de fer d'origines diverses il résulte que la valeur élevée du champ coercitif des poudres de fer pyrophorique ne provient pas de perturbations de réseau dont l'influence est faible, mais qu'elle est due à des facteurs géométriques : texture poreuse, dimension cristalline, anisotropie de forme, conformément aux prévisions de Néel.

(1) *Bull. Soc. fr. miner. crist.* (1952), 75, p. 527.

INTRODUCTION

Après avoir brièvement rappelé les résultats et interprétations souvent contradictoires données par d'autres auteurs dans l'étude de préparations, par réduction à l'hydrogène, fer pyrophorique, nous essayons d'abord de démontrer le mécanisme de sa préparation dans la méthode que nous avons choisie : la réduction à l'hydrogène du formiate ferreux. Le chap. I (II) traite de la décomposition thermique du formiate, précédant ou accompagnant sa réduction ; le chap. II (II) étudie la réduction aux températures exceptionnellement basses 250°-320° C et enfin le chap. III (II) examine la réduction à l'hydrogène dans l'intervalle usuel de 350°-640° C.

Parallèlement la dimension des particules de fer est déterminée en fonction de la température de réduction par des mesures de largeurs de raies, en appliquant les enseignements de la partie théorique. Les données acquises combinées avec des mesures de champ coercitif permettent de construire la courbe du champ coercitif en fonction de la dimension des cristallites.

Le chap. IV (II) est consacré à l'étude de la surface libre des cristallites pyrophoriques. Le considérable développement de la surface est mis en évidence au moyen de réactions chimiques simples — action de l'eau, diffusion lente d'oxygène — dont on suit le mécanisme, d'ailleurs très différent, par les cinétique, les propriétés magnétiques des produits et aux rayons X.

Pour déceler l'existence éventuelle de perturbations du réseau, on entreprend des mesures simultanées de largeurs et intensités des raies dans le chap. V (II) où plusieurs poudres d'origines diverses (fer et fer-cobalt pyrophoriques, fer excarbonylé avant et après recuit, limaille de fer Armco) sont comparées dans leurs propriétés magnétiques et celles, révélées par les rayons X.

Les résultats expérimentaux, acquis dans l'ensemble de

travail, sont enfin discutés, dans le chap. VI (II) à la lumière des prévisions théoriques de L. Néel (1946, 1947, 1949, a, b).

HISTORIQUE

Parmi les recherches sur le fer pyrophorique, préparé par réduction à l'hydrogène d'oxydes ou d'hydrates, les travaux accompagnés d'études aux rayons X sont rares. Nous n'en citons que deux, l'un dû aux chercheurs russes Tschufaroff et Awerbuch (1936) en collaboration avec Kasanzew (1935) pour la partie cristallographique, l'autre à Fricke et ses collaborateurs (1937, 1938).

D'après les auteurs russes les cristallites de fer, préparées par réduction d'oxydes, croissent de 65 Å à 115 Å lorsque la température de réduction varie de 450° à 700° C. Ces mesures sont sujettes à caution; d'abord aucune correction de mesures ne semble avoir été faite et de plus, dans l'intervalle de température indiqué, la porosité p définie par le volume de benzène adsorbé sur 100 g. de produit décroît dans le rapport 16 à 1. Or en première approximation la porosité est proportionnelle à la surface libre des cristallites. Si l est la dimension linéaire moyenne et n le nombre des cristallites, supposées indépendantes, on a

$$p = K n l^2.$$

De l'égalité des volumes on déduit

$$n_1 l_1^3 = n_2 l_2^3$$

d'où

$$p_1 / p_2 = l_2 / l_1.$$

Les porosités seraient donc inversement proportionnelles aux dimensions cristallines. Comme la porosité décroît plus vite que ne croissent les cristallites (la disparition de surfaces interstitielles ne donne pas nécessairement lieu à une cristallite unique et les pores, devenant intérieurs ou trop petits par frittage, sont inaccessibles aux molécules de benzène), le point essentiel à retenir ici est qu'entre les températures de préparation de 450° et 700° C, la grandeur des cristallites

varie dans un rapport certainement supérieur à 2 : 1 et inférieur à 16 : 1.

Fricke et ses collaborateurs, par hydrogénation de l'hydroxyde trivalent « amorphe » à 14,5 % d'eau, trouvent que les produits préparés entre 350° à 550° C sont pyrophoriques. Dans l'intervalle de 350° à 640° C la proportion de magnétite décroît de 7,8 à 1 %, la chaleur de dissolution diminue de 1,40 Cal/atomegramme et la dimension des cristallites croît assez peu, de 240 à 315 Å.

Comme alors la différence des énergies de surface est insuffisante pour rendre compte de la pyrophoricité et de l'excès de chaleur de dissolution de la préparation à 320° C, les auteurs attribuent ces phénomènes à une perturbation du réseau. Celle-ci, assimilée à une « agitation thermique figée » (voir chap. V (I)), s'exprimerait, selon eux, par une chute de 25 % du rapport des intensités des raies (220) et (110). Sur la base de la théorie de Debye, ils en déduisent un carré moyen d'amplitude de perturbation $\overline{u^2}$ dont la racine atteint 0,13 Å (soit 5 % de la distance entre voisins proches) et dont l'énergie corrélative est de 1,45 Cal/atomegramme, c'est-à-dire presque égale à l'excès de chaleur de dissolution qui se trouverait expliqué ainsi.

Ces auteurs n'ont pas contrôlé leurs résultats obtenus aux rayons X par une étude chimique de la surface. De plus leur méthode aux rayons X n'est pas exempte de critiques. Disons tout de suite que leurs conclusions ne s'accordent pas avec les nôtres.

CHAPITRE I (II)

DÉCOMPOSITION THERMIQUE DU FORMIATE FERREUX

1. Préparation.

La matière de départ est le formiate ferreux cristallisé : deux molécules d'eau $(\text{HCO}_2)_2\text{Fe} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, fourni par la Société d'Électrochimie d'Ugine. Les dimensions cristallines dépassent

ESSAI	MATIÈRE PREMIÈRE	CHAUFFAGE	TEMPÉRATURE ET DURÉE DE DÉCOMPOSITION	ANALYSE AUX RAYONS X	FeO/Fe ₃ O ₄ EN MOL	GRANDEUR DES CRISTALLINITÉS EN Å
D _{1,4} . . .	(CO ₂ H) ₂ Fe, 2H ₂ O	brusque	250° pdt. 1 h. sous vide	formiates anh. + aq.	0	160
D ₂	—	progressif	250° — 30 m. — — 2 h. tube scellé	Fe ₃ O ₄		
D _{3 a} 3 b	—	—	a) 190° — 1 h. sous vide + b) 200° — 3 h. tube scellé	(CO ₂ H) ₂ Fe	2/3	a) 120 b) 300
D ₅	—	—	300° — 45 m. sous vide	FeO + Fe ₃ O ₄	5	68 (FeO)
D ₆	(CO ₂ H) ₂ Fe anh.	—	300° — 20 — —	FeO + Fe ₃ O ₄		
D ₇	—	brusque	300° — 40 — —	FeO + Fe ₃ O ₄	0	287
D ₉	—	progressif	300° — 20 — — 400° — 4 h. tube scellé	Fe ₃ O ₄		
D ₁₁	—	—	300° — 20 m. sous vide + 300° — 4 h tube scellé + 400° — 42 h. — —	Fe ₃ O ₄	0	351
D ₈	(CO ₂ H) ₂ (Fe-Co), aq. Fe: Co = 2:1	—	350° — 30 m. sous vide	(Co-Fe) + (Fe-Co) ₃ O ₄		
D ₁₀	(CO ₂ H) ₂ Fe, 2H ₂ O	brusque industriel	350° — 15 — —	FeO + Fe ₃ O ₄ + formiates		83 (FeO)
D ₁₂	—	—	350° — 25 — —	FeO + Fe ₃ O ₄	2/3	130 (FeO) 145 (Fe ₃ O ₄)
D ₁₃	—	progressif	250° — 2 h. vide cath.	Fe + Fe ₃ O ₄		

le micron (clichés ponctués). Le diamètre des grains déterminé par tamisage est de 150 μ .

Comme l'hydrogénation est toujours précédée d'une décomposition, nous avons cru utile de séparer les deux phases de réaction afin de déterminer les conditions optima de préparation de fer pyrophorique.

L'action de la chaleur (bain d'huile, four à sel) pendant 2 à 40 min. entre 250 et 350° C sous vide ou atmosphère neutre (N_2) donne lieu à des poudres noires, généralement pyrophoriques. Les poudres de décomposition sont noyées sous benzène, ce qui permet de les transporter et transvaser facilement. Pour la confection de bâtonnets ou de pastilles, on les rend insensibles à l'action de l'oxygène en les imbibant d'une solution de polystyrène dans le benzène que l'on laisse évaporer. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau II-1.

2. Mécanisme de réaction.

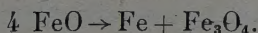
1) *Le formiate ferreux anhydre.* — Dans un premier stade de réaction le formiate perd son eau de cristallisation pour donner lieu à une espèce cristalline nouvelle, le formiate ferreux anhydre, doué d'une remarquable stabilité et dont nous signalons rapidement une préparation (D_1 , D_4 , D_3). 2 g de $(HCO_2)_2Fe$, $2H_2O$ sont chauffés dans une ampoule, reliée (à travers des flacons de garde) à une pompe à palettes. L'ampoule plonge dans un bain d'huile dont la température augmente à la vitesse de 9° C par minute jusqu'à 190° C où elle est maintenue pendant une heure. L'analyse chimique du produit est en accord avec la formule $(HCO_2)_2Fe$. Pour obtenir un diagramme D-S utilisable, une pastille de poudre comprimée est chauffée en tube scellé pendant 3 heures à 195° C. La dimension des cristallites croît alors de 120 à 300 Å. Le cliché D-S, totalement différent du produit de départ est moins riche en raies, signe d'une maille plus symétrique dont nous réservons l'étude (voir le tableau II-2 où les 12 premières raies D-S sont consignées).

TABLEAU II-2

aies de Debye-Scherrer des formiates ferreux, hydraté et anhydre.

N ^{os}	(H-COO) ₂ Fe		(H-COO) ₂ Fe, 2H ₂ O	
	INTENSITÉ	DISTANCE RÉTICULAIRE	INTENSITÉ	DISTANCE RÉTICULAIRE
1	F	5,76 ₂ Å	F	4,89 ₁ Å
2	F	4,10 ₉	F	4,57 ₂
3	m+	3,24 ₆	f	4,31 ₆
4	m	2,69 ₈	f	3,71 ₈
5	FF	2,60 ₅	f	3,52 ₀
6	m	2,30 ₄	m	3,43 ₄
7	m+	2,22 ₁	f	3,18 ₀
8	F	1,87 ₀	f	3,09 ₈
9	f	1,82 ₃	f+	2,86 ₄
10	f	1,80 ₆	m+	2,67 ₅
11	f	1,67 ₈	m+	2,63 ₁
12	m	1,61 ₀	f	2,47 ₉

2) *Naissance et destruction de FeO.* — Le deuxième stade de la réaction est la décomposition du formiate anhydre en microcristaux de FeO d'une dimension moyenne de 60 Å environ. Leur accumulation au début de la décomposition de (HCO₂)₂Fe (D₆) coïncide avec la pyrophoricité maxima de ces poudres. Ensuite FeO donne naissance à la formation de Fe₃O₄ (D₅), soit parce que parmi les gaz de décomposition (¹) H₂, H₂O, CO, CO₂) l'hydrogène (4 mol.) est incapable de contrebalancer l'influence des gaz oxydants (16 mol.), soit parce que FeO à son tour se décompose suivant la réaction



Le fait que le fer en général n'apparaît pas sur les clichés D-S, s'explique par son oxydation au contact des gaz de

(1) L'analyse des gaz confirmant la réaction $(\text{HCO}_2)_2\text{Fe}, 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 + \text{CO} + \text{CO}_2$ a été faite par M. René Meyer, ingénieur de la Société d'Ugine.

décomposition⁽¹⁾, car si l'on remplace le vide de la pompe à palettes par le vide cathodique (pompe à vapeur de mercure) les gaz de décomposition sont enlevés à une vitesse suffisante pour que le fer naissant ne soit pas complètement oxydé. Les clichés D-S indiquent alors des proportions de 10 % de fer à côté de 90 % de magnétite (D_{13}).

Remarquons à ce sujet que si la décomposition sous vide du formiate de fer ne donne lieu à Fe libre que dans des circonstances bien particulières, et cela grâce à une réaction secondaire, celle du formiate de nickel par contre fournit directement du Ni pur (Brochet, 1920) et la décomposition du formiate de Co produit un mélange de Co et CoO (Caujolle, 1939).

3. Décomposition d'un formiate mixte de Fer et Cobalt

Il est intéressant de constater que dans une décomposition d'un formiate mixte de fer et cobalt, contenant une proportion d'un atome de Co, pour deux atomes de Fe, on voit apparaître sur le cliché D-S, à côté des raies de spinelle $(Fe-Co)_3O_4$, les raies du fer, indiquant une proportion de 10 % de fer pondéral. En réalité, il s'agit d'un alliage (Fe-Co), riche en cobalt, car celui-ci cristallise dans la maille du fer dès qu'il dissout plus de 20 % de fer (D_8).

4. Décomposition de l'oxalate ferreux.

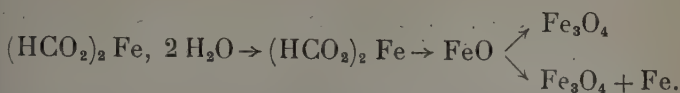
Sans entrer dans les détails des essais entrepris, le rendement en FeO pyrophorique est plus élevé que dans la décomposition du formiate ferreux.

5. Résumé et conclusions.

1) Le caractère métallique des produits de décomposition des formiates de Ni, Co, Fe varie comme la stabilité des formiates et comme l'oxydabilité des métaux.

(1) Les tubes scellés au moment où la proportion de FeO passe par un maximum éclatent souvent dans un recuit sous la pression des gaz occlus. Ceux qui n'éclatent pas fournissent des diagrammes de magnétite (D_2 , D_9 , D_{11}).

2) La décomposition du formiate ferreux évolue suivant le schéma :



3) Le formiate ferreux anhydre qui apparaît au cours de la décomposition est une espèce cristallographique bien déterminée.

4) Le point important à retenir de cette étude est l'excessive petitesse des cristallites de FeO formées dès la décomposition du formiate ferreux anhydre. C'est leur présence qui explique la pyrophoricité des poudres de décomposition et la grande facilité de réduction du formiate ferreux à l'hydrogène.

CHAPITRE II (II)

RÉDUCTION DU FORMIATE FERREUX AUX BASSES TEMPÉRATURES

1. Préparations.

Les préparations de fer pyrophorique par réduction se font en général au-dessus de 350°C. Nous avons entrepris l'étude des réductions aux températures inférieures à 350°C et en particulier entre 250° et 320° C, car les grandes surfaces de réaction créées pendant la décomposition doivent favoriser la formation de fer. Les réductions ont été effectuées au laboratoire de M. le professeur L. Weil qui a bien voulu mettre son installation d'hydrogénation à notre disposition. L'hydrogène commercial est débarrassé de l'oxygène dans un four à cuivre, chauffé à 900° C. Des colonnes de P₂O₅ et KOH absorbent l'eau et le gaz carbonique éventuellement présents. La poudre à réduire (prise d'essai de 2 g. de formiate ferreux) se trouve au fond d'un tube en U qui plonge dans un bain de sel (NaCl + NaNO₃) dont un thermorégulateur maintient la température constante à ± 3° C près. Les branches du tube peuvent rece-

voir des dispositifs de prise d'échantillons. Toute réduction est précédée d'une décomposition de durée variable et sous un débit d'hydrogène assez faible pour ne pas entraîner la poudre en décomposition, mais assez fort pour contrecarrer dans la mesure du possible l'oxydation de FeO en Fe_3O_4 . L'hydrogène passe ensuite à fort débit. Dans le tableau II-3 sont consignés les résultats des réductions, faites entre 250° et 320° C , les proportions des constituants, dosées d'après les intensités des raies et les dimensions des cristallites.

TABEAU II-3

Réduction du formiate ferreux aux basses températures.

$(t < 350^\circ \text{ C})$

	DURÉE	DÉBIT DE H (POUR 2 GRAMMES DE FORMIATE)	TEMPÉ- RATURE EN $^\circ\text{C}$	PROPORTION DE FER ENGAGÉ EN % DU FER TOTAL DE: ($\text{Fe} +$ $\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4$)			TAILLE DES PARTICULES EN \AA		
				Fe	Fe O	Fe_3O_4	Fe	Fe O	Fe_3O_4
1	40 m. 50 m.	25 litres/heure 145 litres/heure	250°	—	64	36	—	56	—
2	40 m. 50 m.	25 litres/heure 145 litres/heure	260°	8	67	25	—	86	—
3	10 m. 50 m.	25 litres/heure 145 litres/heure	280°	35	65	0	116	105	—
4	10 m. 50 m.	25 litres/heure 145 litres/heure	300°	100	0	0	170	—	—
5	5 m. 25 m.	25 litres/heure 145 litres/heure	320°	51	12	37	208	100	220
6	10 m. 50 m.	25 litres/heure 145 litres/heure	320°	100	—	—	220	—	—
7	10 m. 50 m.	25 litres/heure 145 litres/heure	355°	100	—	—	310	—	—

2. Croissance des cristallites de fer.

La teneur en fer, pour une durée de réduction égale, monte très rapidement avec la température (fig. II-1). La dimension des cristallites de fer croît en fonction de la température un peu plus rapidement que la droite (L en Å, t en °C)

$$L = 2,6 (t - 235).$$

En extrapolant vers une dimension nulle, on trouve une température de formation commençante de fer aux environs de 230° C, conclusion raisonnable, la décomposition du forniatée étant sensible à cette température (fig. II-2).

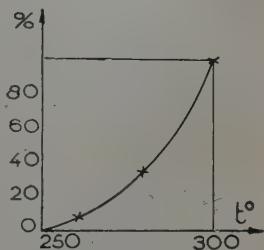


FIG. II-1.

Vitesse de réaction.

Ordonnées : teneur en fer libre après une heure de réaction.

Abscisses : température de réduction.

3. Naissance et Destruction de FeO et Fe_3O_4 .

La quantité de FeO reste sensiblement constante entre 250° C et 280° C pour tomber ensuite rapidement à zéro. Également significative est l'allure de la courbe de croissance des cristallites de FeO en fonction de t °C fig. II-2. Afin de diminuer leur énergie de surface, les particules ont tendance à grossir. A leur croissance s'oppose l'action de l'hydrogène et l'instabilité naturelle de FeO au-dessous du point triple (572°C). Cela explique le ralentissement progressif de la croissance des cristaux et enfin leur destruction complète.

La présence de l'hydrogène ralentit ou empêche même l'oxydation de FeO en Fe_3O_4 par les gaz de décomposition, au moins jusqu'à mesure que la température augmente. Mais au-dessus de 300° C la vitesse de destruction de FeO (suivant $4 FeO \rightarrow Fe + Fe_3O_4$) est assez importante pour donner naissance à des particules de Fe_3O_4 , difficiles à réduire au-dessous de 350° C. Cela explique l'apparition de particules de Fe_3O_4 relativement

grandes dans l'essai d'hydrogénation interrompu après 30 min (tableau II-3 ; essai 5).

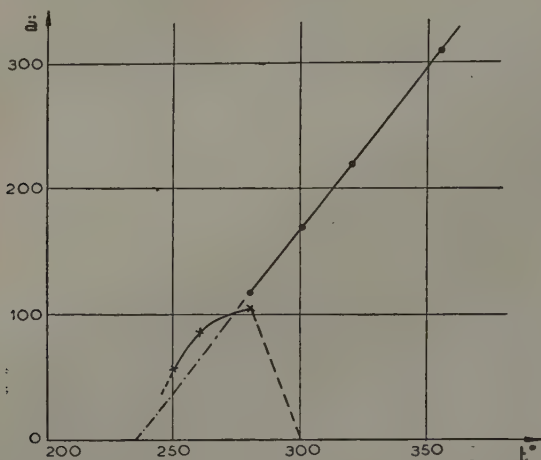
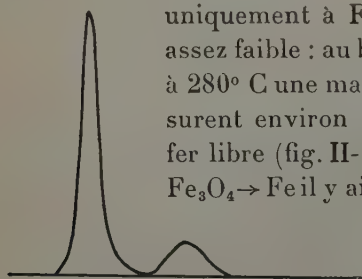


FIG. II-2. — Croissance des particules cristallines de Fe (o) et de FeO (x).
Ordonnées : Dimension en Å des cristallites.
Abscisses : Température de réduction.

Nous avons vérifié, dans des essais séparés, que la réduction de Fe_3O_4 , entre 260°C et 300°C , ne donne pas lieu à FeO, mais uniquement à Fe. Le rendement est d'ailleurs assez faible : au bout de 3 heures d'hydrogénation à 280°C une magnétite dont les cristallites mesurent environ 360 Å n'engendre que 2 % de fer libre (fig. II-3). Il se peut que dans la chaîne $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$ il y ait une couche de passage, non observable aux rayons X, constituée de FeO, instable. De toute façon s'il existait deux chaînes $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ et $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$, la vitesse de la deuxième est trop grande pour permettre une accumulation de FeO.



(400) Fe_3O_4 (110) Fe

FIG. II-3. — Réduction de la magnétite à 280°C .

Raies (400) de Fe_3O_4 et (110) de Fe.

Conclusions.

1) En résumé l'aisance avec laquelle les formiates de fer et d'une manière générale les homologues inférieurs se réduisent à l'hydrogène s'explique par la *formation de grandes surfaces de réaction*, consécutive à la destruction des particules primaires par les départs gazeux (H_2 , H_2O , CO , CO_2) et en particulier par la *formation primaire de FeO en très petites cristallites* (60 à 100 Å).

2) La réduction à l'hydrogène se fait suivant deux chaînes indépendantes : $FeO \rightarrow Fe$ et $Fe_3O_4 \rightarrow Fe$, la première étant considérablement plus rapide.

3) La croissance des cristallites de fer, dans les conditions de l'expérience, est approximativement représentée par la droite

$$L = 2,6 (t - 235) \quad (L \text{ en Å ; } t \text{ en } ^\circ C).$$

CHAPITRE III (II)

RÉDUCTIONS AUX TEMPÉRATURES ÉLEVÉES

1. Préparation.

Dans chaque essai une décomposition de 10 min. à $350^\circ C$ sous faible débit d'hydrogène précède les hydrogénations proprement dites, effectuées, comme précédemment, pendant 10 min. sous un fort débit d'hydrogène et aux températures respectives de 350° , 450° et $640^\circ C$. La poudre 350 est très pyrophorique, la poudre 450 ne l'est que faiblement et dans la préparation 640 toute trace de pyrophoricité (aucun échauffement) a disparu. En même temps la teinte varie d'un noir très foncé à un gris presque clair⁽¹⁾.

(1) Il n'est pas impossible de baser un procédé de mesure de grandeurs de particules sur le pouvoir réflecteur apparent des poudres.

2. Mesure des Dimensions.

La croissance des cristallites entre 350° et 640° C est très rapide. Les corrections à appliquer aux largeurs de raie expérimentales sont alors suffisamment importantes pour illustrer utilement l'application de la méthode de correction, développée dans le chap. III (I) ⁽¹⁾. Par la méthode de focalisation de Brentano nous avons enregistré les raies (110), (200), (211) et (220) que le rayonnement $K\alpha$ du fer permet d'observer et nous avons photométré leurs largeurs pour les trois préparations. Une poudre de fer, dénommée C 300, mise à notre disposition par M. Marcel Mathieu, Directeur à l'O. N. E. R. A., et préparée aux usines de Conflans par recuit prolongé à 300° C sous hydrogène d'un fer ex-carbonyle, poudre dont les raies D-S étaient les plus fines que nous ayons observées, a pu servir de « substance de référence » au sens de la méthode de Jones (et de la nôtre).

Les largeurs de raie expérimentales B résumées dans les tableaux II-4 à 7 sont à corriger de trois facteurs, le doublet, la dispersion — facteurs spectraux, — et la fente — facteur géométrique.

Correction du doublet. — On forme le rapport s/B , s étant la séparation du doublet, et on lit sur le graphique fig. II-4 préparé d'après Jones (1938) le coefficient de correction B_s/B en fonction du paramètre expérimental s/B .

$$s = 2 \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot (\lambda_{\alpha 1} - \lambda_{\alpha 2}) / \lambda. \quad (\text{II-1})$$

Exemple : Poudre C 300 ; $B(110) = 5 \cdot 10^{-3}$ rad. ; $s/B = 0,46$, d'où $B_s/B = 0,8$, et $B_s = 4 \cdot 10^{-3}$ rad. est la largeur de raie corrigée du doublet.

Mesure de la fente. — La largeur $B_s(110)$ de la poudre C 300, l'effet de diffraction B_0 étant négligeable, représente, après correction de l'effet de dispersion, la « largeur de la fente ». Pour cela on forme le rapport β/B_s .

$$\beta = 2 \operatorname{tg} \theta \cdot w / \lambda \quad (\text{II-2})$$

(1) Voir p. 534.

où w est la moitié de la largeur moyenne d'une raie spectrale $K\alpha$ dans l'échelle des longueurs d'onde (tabulée chez Compton-Allison 1935). Ici $\beta/B_s = 0,074$. Sur la fig. I-3 p. 537, on lit alors un coefficient de correction de 0,853 de sorte que la « largeur de la fente » est $F = 0,853$; $B_s = 3,41 \cdot 10^{-3}$ rad. Cette mesure

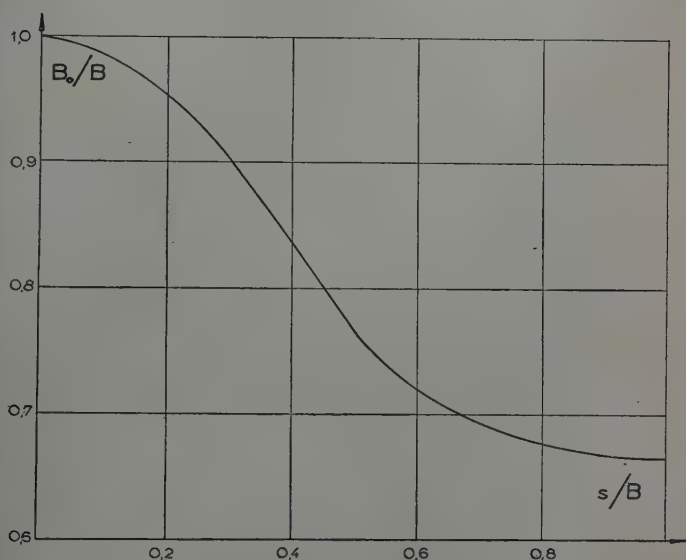


FIG. II-1. — Correction du doublet.

Ordonnées : coefficient de correction B_o/B .
Abscisses : paramètre d'élargissement s/B .

peut être considérée comme symbolisant les conditions géométriques. C'est la seule mesure relative que nécessite la méthode décrite.

Correction de dispersion et de fente.— On calcule pour chaque raie (hkl) le paramètre K qui caractérise les conditions expérimentales (tableau II-8), identiques pour les poudres étudiées.

$$K = \sqrt{\pi} \beta / F. \quad (\text{II-3})$$

On évalue ensuite le rapport F/B pour chaque raie et chaque poudre. Sur les abaques (p. 536) on cherche le coefficient de correction B_o/B , correspondant au « point » de coordonnées

($K; F/B$). De B_0 on déduit une dimension apparente L d'après

$$B_0 = \lambda \cdot (L \cos \theta)^{-1}. \quad (\text{II-4})$$

Remarque. — Si la largeur de la fente était négligeable, on aurait dû utiliser le graphique de la fig. I-4, p. 538.

3. Discussion des résultats.

Poudre 355. — La dimension moyenne est de 320 Å pour tous les plans considérés. Cela permet d'affirmer qu'il n'y a pas de forme cristalline privilégiée et en même temps qu'il n'y a pas de perturbations de réseau à longues distances, analogues à celles que l'on rencontre dans les métaux travaillés à froid. Bien que la correction totale que subit B atteint 30 % environ, l'écart moyen de L n'est que de 4 %. (Tableau II-4.)

Poudre 450. — La dimension moyenne des cristallites est de 650 Å. Elle a donc varié du simple au double pour une élévation de température de 100° C. La raie (220) est déjà nettement dédoublée. L'écart moyen de L n'est que de 5,5 % alors que la correction totale atteint déjà 50 % ! Le bon accord nous semble cependant fortuit, car l'erreur à craindre est bien plus grande. (Tableau II-5.)

Remarque : Dans tous les tableaux du texte les largeurs B sont exprimées en millièmes du radian.

TABLEAU II-4

Fer 355.

INDICE DES PLANS	(110)	(200)	(211)	(220)
$B \dots$	8,82	11,09	15,53	30,58
$B_s \dots$	8,49	9,74	13,21	25,08
$B_0 \dots$	6,72	8,0	11,0	21,1
$L \text{ en } \text{\AA}.$	328	328	314	313

TABLEAU II-5

Fer 450.

INDICE DES PLANS	(110)	(211)	(220)
B.....	6,33	10,95	21,0
B _s	5,5	8,11	14,91
B _o	3,29	5,27	10,44
L en Å.....	667	654	632

TABLEAU II-6

Fer 640.

INDICE DES PLANS	(110)	(211)	(220)
B.....	5,26	7,97-8,27	12,65
B _s	4,31	5,48-5,7	8,44
B _o	0,91	0,99-1,52	2,19
L en Å.....	2.430	3.500-2.300	3.000

TABLEAU II-7

Fer C 300 : Substance de référence.

INDICE DES PLANS	(110)	(211)	(220)
B.....	5,00	7,14	11,84
B _s	4,00	4,82	7,89
F.....	3,41	—	—
B _o	—	—	1,19
L en Å.....	—	—	5.500

TABLEAU II-8

Valeurs de $K = \sqrt{\pi} \beta/F$.

INDICE DES PLANS	(110)	(200)	(211)	(220)
K.	0,146	0,240	0,400	0,877

Poudre 640. — La résolution du doublet de la réflexion (220) est parfaite. Un commencement de dédoublement est déjà visible pour la raie (200). Les mesures de largeurs de raie permettent seulement d'affirmer que la dimension des cristallites est de l'ordre de 2.500 Å. La précision ne peut guère être meilleure ici, car les élargissements spectraux et géométriques dépassent de loin la largeur de diffraction pure à mesurer B_0 (voir tableau II-7). Pour fixer les idées, admettons que l'on ait entre largeurs de raie une relation de la forme (II-6, p. 19). L'erreur sur la dimension L varierait alors comme

$$\Delta L/L = \Delta B_0/B_0 = (\Delta B/B) \cdot (B/B_0)^2. \quad (\text{II-5})$$

Si par exemple $B_0/B = 0,25$, l'erreur sur la mesure de B qui est de l'ordre de 3 à 4 % se trouve multipliée par 16. On conçoit donc combien la mesure de grandes particules est difficile. Pour illustrer ce point nous avons porté dans le tableau II-6 deux valeurs de B mesurées de la largeur de raie (211) qui ne diffèrent que de 3,6 %, alors que la dimension cristalline correspondante varierait de 53 %!

Poudre C 300. — Ici les corrections atteignent une telle valeur que la mesure d'une dimension est ou impossible (aux petits angles) ou ne peut prétendre qu'à fournir un ordre de grandeur (aux grands angles). La réflexion (110), après les corrections de doublet et de dispersion, nous a servi de mesure de la largeur de la fente. La discussion de la valeur de B (220) montre que les cristallites mesurent plus de 3.000 Å, sans

pendant dépasser le micron. Les raies, très fines, sont continues sans que l'on puisse voir des taches de réflexion isolées, caractéristiques de dimensions cristallines supérieures au micron.

Les constatations faites nous autorisent à dire que l'intervalle de 1.000 à 10.000 Å sera inaccessible à des mesures précises aussi longtemps que l'on n'aura pas mis au point des dispositifs éliminant les facteurs spectraux du doublet et de la dispersion, principalement responsables des élargissements parasites.

4. Comparaison avec la méthode de « Jones-Warren ».

La méthode de Warren (1938) consiste à supposer que toutes les causes d'élargissements soient représentées par des courbes de Gauss. On est alors conduit à une formule du type ⁽¹⁾

$$B^2 = B_o^2 + C^2 \quad (\text{II-6})$$

$$B_s^2 = B_o^2 + (B_\infty)_s^2. \quad (\text{II-6}')$$

où C est un terme correctif qui représente encore la largeur expérimentale B_∞ de raies de particules « de référence » (à B_o négligeable). Nous avons évalué les dimensions cristallines d'après la relation analogue (II-6') où n'interviennent que les largeurs de raie corrigées du doublet d'après Jones.

5. Croissance des cristallites en fonction de la température.

Le graphique de la fig. II-5 compare les résultats de la méthode de « Jones-Warren » et de la nôtre. En ordonnées sont portées les dimensions des cristallites et en abscisses les

(1) Si tous les facteurs (ou « poids ») d'élargissements étaient représentés par des fonctions du type « dispersion » (I-29, p. 535), on serait conduit à une relation linéaire (droite de Scherrer). Les fonctions « poids » étant d'un type intermédiaire, l'expérience montre que la courbe de correction (B_o/B en fonction de B_∞/B) est intermédiaire entre l'arc de cercle de Warren (correction trop faible) et la droite de Scherrer (correction trop forte). Voir aussi A. Taylor (1945).

températures de réduction de même durée. La méthode de Jones-Warren fournit des corrections trop faibles. On constate cependant que dans les deux méthodes la dimension des cristallites croît plus rapidement en fonction de la température que suivant une loi linéaire. La croissance des cristallites présente quelques analogies avec la vitesse d'une réaction chimique et en particulier d'une polymérisation, vitesse qui en général augmente considérablement avec la température. Retenons que dans l'intervalle de 320° à 640°C la dimension des cristallites varie du simple au décuple.

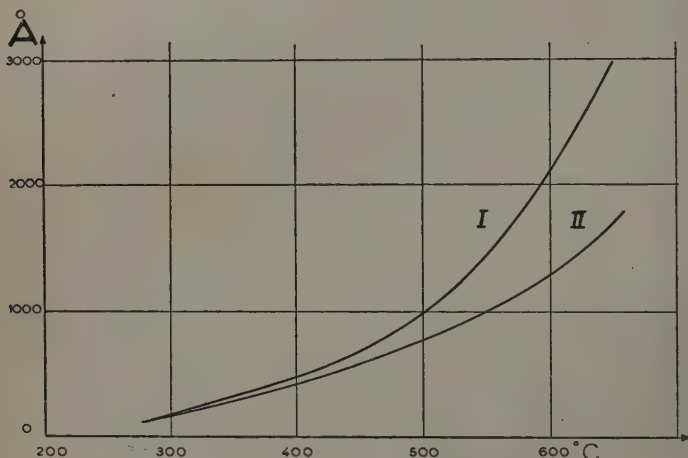


FIG. II-5. — Croissance des cristallites de fer en fonction de la température de réduction.

Courbe I : Notre méthode de correction.

Courbe II : Méthode de correction relative (Jones-Warren).

6. Étude Magnétique.

Les mesures magnétiques ont été effectuées dans le laboratoire de M. le professeur L. Weil avec les appareils décrits dans sa thèse. Comme la valeur du champ coercitif dépend de l'état de compression — H_c est une fonction décroissante de la densité pour un même échantillon — seules les valeurs du champ coercitif de la poudre (cas d'une compression nulle) ont

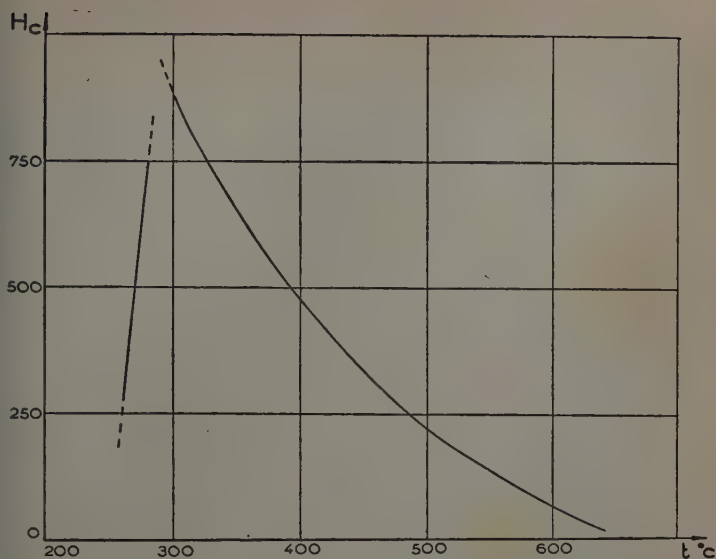


FIG. II-6. — Champ coercitif (en gauss) et température de réduction (en $^{\circ}\text{C}$);

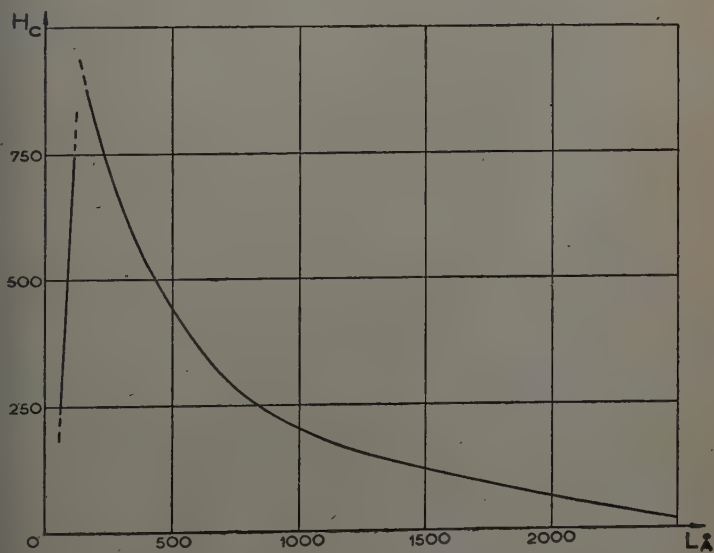


FIG. II-7. — Champ coercitif (en gauss) et dimension cristalline (en \AA).

quelque chance de pouvoir être reliées à la dimension des cristallites. La fig. II-6 représente la variation du champ coercitif en fonction de la température de réduction. Comme la dimension des cristallites varie parallèlement avec la température, il s'ensuit que la variation du champ coercitif en fonction de la dimension cristalline présente une allure analogue à la fig. II-6. Faible, lorsque la dimension des cristallites est petite, le *champ coercitif* croît très rapidement, *passé par un maximum de l'ordre de 1.000 gauss*, lorsque la dimension des cristallites est *aux environs de 200 Å*, et décroît plus lentement lorsque la dimension des cristallites dépasse 300 Å (voir fig. II-7).

En extrapolant la branche gauche de la courbe vers un champ coercitif nul, on trouverait une *dimension non nulle* *laquelle le fer se comporterait donc comme un paramagnétique* du moins à la température ordinaire⁽¹⁾. Cependant la situation est ici compliquée du fait de la présence d'un autre ferromagnétique, la magnétite, aux réductions au-dessous de 290°C. Nous espérons que l'étude de poudres de Ni, ne donnant pas lieu à des oxydes ferro-magnétiques, tranchera cette question.

L'aimantation rémanente varie en apparence comme le champ coercitif. Nous espérons que l'étude de Ni simplifiera également ici le problème.

Nous reviendrons plus longuement (chap. VI (II), p. 49) sur la question du champ coercitif, lorsque nous aurons comparé les propriétés des poudres pyrophoriques avec celles d'autres poudres de fer.

(1) Elmore a observé que la magnétite colloïdale peut se comporter comme un paramagnétique (1938). L. Néel dans sa théorie récente du temps de relaxation d'un ensemble de grains aimantés (1949) trouve que le temps au bout duquel l'ensemble se désaimante est une fonction rapidement décroissante du rapport v/T ; v = volume du grain, T = température absolue. L. Weibull entre temps a vérifié sur le nickel quelques aspects de cette théorie en étudiant la variation du champ coercitif en fonction de la température (1949).

CHAPITRE IV (II)

ÉTUDE DE SURFACES ET TEXTURES.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DE POUDRES DE FER PYROPHORIQUES

Introduction.

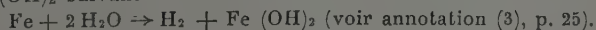
La détermination aux rayons X d'une dimension moyenne constitue un indice, mais non pas une preuve de la surface chimiquement active. Les essais suivants, effectués avec des moyens très simples, montrent que la très grande réactivité des poudres de fer pyrophorique préparées au laboratoire est due au considérable développement de surface. Dans une première partie (1) nous étudions l'action de l'eau sur la texture et les propriétés magnétiques, dans une seconde partie (2) l'action de l'oxygène par diffusion lente. Nous esquissons, dans une troisième partie (3), une théorie de la pyrophoricité et nous discutons la relation entre la dimension des cristallites, l'énergie de surface et l'excès de chaleur de dissolution (Fricke, 1937, 1938).

1. Action de l'eau.

1. 1. Description de l'essai.

Le fer pyrophorique, préparé à 320° C, cristallisé en particules de 230 Å, a été choisi pour ces essais. Dans un récipient contenant une quantité déterminée de fer on fait le vide, puis on introduit brusquement, par un jeu de robinets, de l'eau distillée et bouillie. On adapte le dispositif classique de l'éprouvette renversée pour mesurer le dégagement d'hydrogène provenant de l'attaque du fer. Au bout d'un mois la vitesse de réaction s'étant considérablement ralentie, l'essai a été interrompu. Le dégagement d'hydrogène est alors d'un peu plus d'une molécule d'hydrogène (1) par atome-gramme

(1) Une autre raison de l'interruption de l'essai est que nous avons cru, après la quantité d'hydrogène dégagée, à une transformation complète de fer en $\text{Fe}(\text{OH})_2$ suivant



de fer (1.800 cm^3 de H_2 pour $4,42 \text{ g.}$ de fer). La fig. II-8 représente le dégagement de H_2 en fonction du temps à une température moyenne de 18° C.

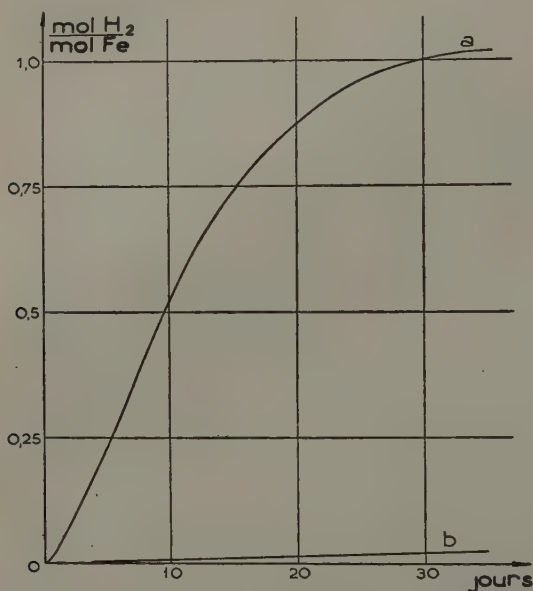


FIG. II-8. — Dégagement d'hydrogène par action de l'eau sur le fer pyrophorique (a) et le fer E (b).

1. 2. Comparaison avec le fer E industriel.

Une poudre de fer E (ex-carbonyl), cristallisée en particules de 80 \AA , montre une réactivité bien inférieure, la quantité d'hydrogène dégagée au bout d'un mois n'atteint que $1/50$ mol de H_2 (10 cm^3 pour $13,3 \text{ g.}$ de fer). Cela prouve la nature peu poreuse du fer E. Ce résultat est en accord avec les mesures de densité, les propriétés magnétiques (chap. V (II), p. 44) et l'aspect de la poudre. La poudre E est lourde, de densité $3,87$, d'une teinte gris clair, tandis que la densité du fer pyrophorique, noir, est inférieure à $1,3$ (pastilles comprimées à la main). Sous le microscope les particules de fer E apparaissent comme des sphérules de l'ordre du μ . Si l'on suppose que gros

sièrement la vitesse moyenne initiale de production d'hydrogène est proportionnelle à la surface chimiquement active, un raisonnement analogue à celui de la page 3 montre que les quantités d'hydrogène initialement dégagées sont dans le rapport inverse des dimensions linéaires des grains ⁽¹⁾, soit comme 1/50 environ, ce qui qualitativement se vérifie assez bien ⁽²⁾.

1. 3. Produits de réaction.

Alors qu'au bout de plusieurs mois d'attaque il se forme sur la poudre E des écailles d'un rouge orangé, identifiées aux rayons X comme étant la lépidocrocite ($\text{FeOOH-}\gamma$), le produit de l'action de l'eau sur le fer pyrophorique est toujours la magnétite sans que, dans des prélèvements d'échantillons successifs, on puisse détecter un stade d'oxydation ou d'hydratation intermédiaire. En fonction du temps on trouve uniquement un enrichissement progressif en Fe_3O_4 . La réaction a encore lieu lorsque l'on remplace l'eau distillée par l'eau de chaux, milieu franchement alcalin.

Ce qui commande le sens de la réaction de l'eau sur le fer ⁽³⁾ n'est donc pas une propriété spécifique de l'atome de fer, mais une propriété macroscopique : la réactivité de la poudre, en d'autres termes sa surface libre (ou encore l'énergie de réaction localement disponible).

La pyrophoricité de la poudre 320 ne disparaît que lentement. Ces poudres (séchées sous le vide d'une pompe à palettes) sont pyrophoriques après un séjour de 11 jours et s'échauffent encore sensiblement à l'air après un séjour de 16 jours dans l'eau. Cela prouve que l'action de l'eau ne donne pas lieu à la formation d'une couche uniforme d'oxyde, recouvrant les cristallites et capable d'« inactiver » la poudre.

(1) « Grain » n'est pas synonyme de cristallite. Un grain de fer E en contient un très grand nombre.

(2) Les chaleurs de mouillage, mesurées par L. Weil (1948 a), sont également dans ce rapport.

(3) Rappelons à ce sujet que du fer grossièrement limé et agité dans l'eau sous une atmosphère neutre fournit du $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

1. 4. Transport de réactivité.

La réactivité du fer pyrophorique peut même se transporter sur un autre corps. Lorsque du fer massif plonge dans une solution de SO_4Cu , du fer entre en solution et corrélativement du cuivre se dépose. Or, en agitant du fer pyrophorique dans une solution de SO_4Cu neutre, on n'obtient pas Cu , mais Cu O , identifié par son cliché D-S.

1. 5. Grandeur de cristallites et texture.

L'étude des largeurs de raie montre que dans l'attaque à l'eau de la poudre 320 la dimension moyenne du fer résiduel est restée pratiquement inchangée (250 Å), alors que la magnétite est cristallisée en particules d'environ 300 Å, donc plus grandes ! Cela s'explique si l'on admet que *tout cristal de Fe_3O_4 provient de l'oxydation totale d'un cristal de fer*, car le rapport d'homothétie entre un cristal de magnétite et le cristal de fer qui lui donne naissance est de 1,3 comme le prouve un calcul élémentaire. Le fait que la réaction d'oxydation se ralentit nettement au bout d'un mois, alors que la proportion de fer libre d'après les mesures d'intensité de raies est encore de 15 % par rapport au fer total, peut être attribué à l'obstruction progressive des pores de l'éponge de fer. Les mesures de densité ⁽¹⁾, qui passe de 1,25 à 1,69 après oxydation à l'eau, cadrent assez bien avec celle calculée (1,66) dans l'hypothèse que la dilatation des cristallites dans le passage $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ se fasse aux dépens des pores de l'éponge de fer.

1. 6. Propriétés Magnétiques.

Le traitement oxydant à l'eau fait perdre à l'éponge de fer ses excellentes qualités d'aimant permanent. Le champ coercitif de la poudre (ou de l'échantillon comprimé) comme aussi les aimantations rémanentes et à saturation accusent des fortes

(1) Pastilles comprimées à la main dans les mêmes conditions.

chutes après oxydation (tableau II-9). Il est difficile de séparer la part qui revient à la structure cristalline et à la grandeur des particules dans la chute des qualités magnétiques, les deux phases en présence étant ferromagnétiques. La transformation en magnétite et la croissance des grains agissent dans le même sens sur σ . La chute de H_c peut être attribuée à la croissance des cristallites qui en même temps s'arrondissent en faisant disparaître une anisotropie éventuelle de forme des grains de fer primitifs (voir chap. VI (II)). L'aimantation à saturation est quelque peu inférieure à la valeur mesurée pour une magnétite pure ($\sigma_\infty = 93$), ce qui semble indiquer que la composition de la magnétite se trouve du côté riche en fer. La saturation tombe en effet très rapidement pour des magnétites riches en FeO (Kopp, 1919).

TABLEAU II-9

Propriétés avant et après oxydation.

	POUDRE	ÉCHANTILLON COMPRIMÉ				
	H_c	H_c	σ_R	$\sigma_{2.000}$	d	t
Fer pyrophorique....	702	475	74	127	3,65	4
Fer pyroph. oxydé à l'eau.....	472	176	26	85	3,65	5

Notations : H_c = champ coercitif en gauss.

σ_R = aimantation rémanente spécifique en gauss/g.

$\sigma_{2.000}$ = aimantation dans un champ de 2.000 gauss.

d = densité.

t = taux de compression en tonnes/cm².

2. Essais d'oxydation par diffusion lente d'oxygène.

Le mécanisme de l'oxydation par diffusion lente est étudié et la quantité minimum d'oxygène, nécessaire à l'inactivation du fer pyrophorique, est mesurée. On interprète les propriétés

chimiques et magnétiques en liaison avec les déterminations de dimensions cristallines aux rayons X.

2. 1. Inactivation à l'air.

Dans quelques essais préliminaires, le vase de réaction (fig. II-9) d'un volume de 15 cm³, formé d'une boule à deux tubulures et contenant le fer pyrophorique (environ 1 g), est intercalé entre deux capillaires, dont l'un *A* est relié à une pompe à vide, l'autre, *C*, à des colonnes de séchage et de purification à travers lesquelles on fait simplement passer de l'air sec à la pression atmosphérique. Au préalable le récipient *B* est dégazé. On enlève ainsi la majeure partie d'hydrogène sauf celle retenue par adsorption chimique⁽¹⁾. L'air passe pendant une dizaine d'heures avec un débit de 0,54 cm³/min. Dans ces conditions le fer pyrophorique, préparé à 350°C, fixe environ 5 % de son poids d'oxygène, soit la quantité considérable de 40 cm³ d'oxygène par g de fer. Ces essais nous ont suggéré d'opérer par volumétrie.

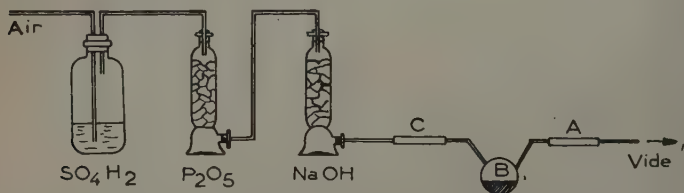


FIG. II-9. — Passivation du fer pyrophorique par l'air sec.

2. 2. Inactivation à l'oxygène.

D'après le schéma de la fig. II-10 le récipient *B* contenant le fer peut être mis en communication, soit avec une pompe à vide pour un dégazage préliminaire, soit avec une burette volumétrique remplie d'oxygène, préalablement séché et purifié sur P₂O₅, SO₄H₂ et NaOH. Entre la burette et le récipient

(1) L'hydrogène est adsorbé dès — 183°C sous une pression de 0,01 mm. sur des surfaces métalliques propres (Roberts, 1935) à une vitesse très grande (non mesurable). Sa désorption par l'oxygène est également très rapide.

On intercale un capillaire freinant convenablement le débit d'oxygène. Les volumes d'oxygène absorbé sont lus à la pression atmosphérique en maintenant le mercure du réservoir *R* et dans la burette au même niveau. Pour éviter les échauffements locaux le récipient *B* est constamment agité.

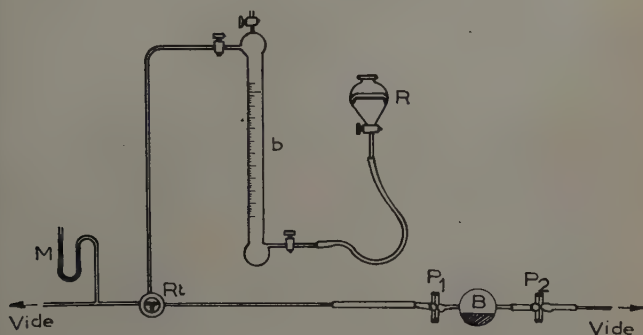


FIG. II-10. — *Passivation du fer pyrophorique à l'oxygène.*

Dans ces essais très délicats, le choix d'un volume de rem-lissage ou d'un débit de capillaire trop grand provoque un échauffement considérable de chaleur, signe d'une oxydation trop poussée. Le capillaire utilisé dans les essais, consignés ici, correspond à un débit de $2,39 \text{ cm}^3$ d'air sec par min., soit $2,15 \text{ cm}^3$ d'oxygène, rapportés à la pression atmosphérique lorsque ses extrémités sont respectivement aux pressions $P_1 = P$ et $P_2 = 0$ (vide entretenu). Le volume mort est comparable dans tous les essais (16 à 18 cm^3). L'agent d'inactivation est ou l'oxygène commercial, ou l'oxygène très pur, préparé par action de MnO_4K en solution sulfurique sur H_2O_2 . Le poids du fer inactivé est déterminé par simple pesée. La teneur finale en fer est encore contrôlée par manganimétrie.

2. 3. Mécanisme de l'absorption.

Les courbes d'absorption d'oxygène ont toutes l'allure de la figure II-11. Une montée initiale très rapide est suivie d'une partie quasi rectiligne suivant laquelle la majeure partie d'oxy-

gène est absorbée, la durée de l'absorption rectiligne étant grossièrement proportionnelle à la quantité de fer présente. Ensuite l'absorption se ralentit considérablement. Un fait à signaler est la coïncidence initiale des nombreuses courbes d'absorption que nous avons été amenés à tracer et de la courbe

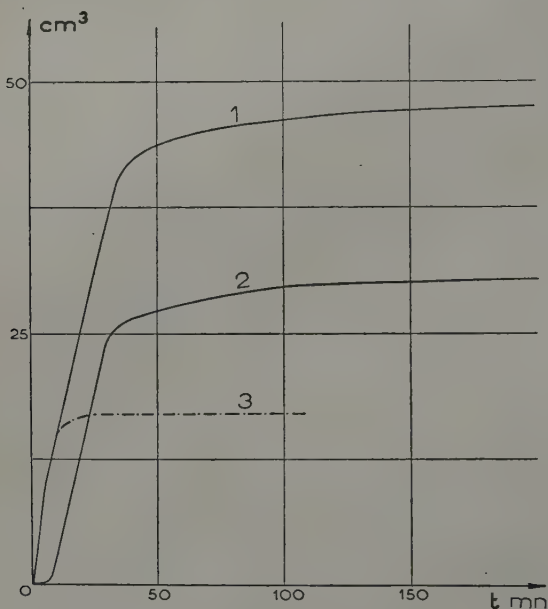


FIG. II-11. — Absorption d'oxygène (essai n° 1 du tableau II-10).
 La courbe 1 représente l'absorption V , lue sur la burette en cm^3 .
 — 2 — l'absorption vraie d'oxygène.
 - - 3 - - le remplissage du « volume » (récipient B vide)
 Abscisses : temps en minutes.

de remplissage d'un volume vide pendant les 7 premières minutes environ, malgré des quantités de fer traitées très différentes. Voici l'interprétation de ce phénomène :

La chaleur de sorption de l'oxygène étant considérablement plus élevée que celle de l'hydrogène adsorbé sur le fer, dans cette phase initiale, le film d'hydrogène est désorbé, molécule par molécule, au fur et à mesure que l'oxygène entre dans le récipient B . Cette interprétation explique aussi de la manière

plus naturelle les deux faits curieux suivants qui nous ont laissés longtemps perplexes.

a) Lorsque l'air sec remplace l'oxygène dans la burette, l'absorption s'arrête au bout de quelques minutes. b) Il en est de même lorsque la quantité de fer traitée est grande par rapport au volume de remplissage (par exemple 2,5 g.).

Dans les deux cas les échantillons *restent* assez fortement pyrophoriques. C'est que l'absorption s'arrête pratiquement lorsque dans le premier cas la somme des pressions partielles de l'azote et de l'hydrogène désorbé et dans le deuxième cas la pression seule de l'hydrogène désorbé atteignent la pression atmosphérique ⁽¹⁾ dans le récipient *B*.

Le graphique des pressions (fig. II-12) est construit d'après la loi de Poiseuille ⁽²⁾

$$\frac{dV}{dt} = C^{te} (P^2 - p^2) \quad (II-7)$$

où *V* est le volume absorbé et *p* la pression dans le récipient, la somme des pressions partielles de l'oxygène, n'ayant pas réagi, et de l'hydrogène désorbé. La pression augmente très rapidement dans la première phase de désorption d'hydrogène et d'adsorption d'oxygène; dans la deuxième phase d'absorption linéaire $\left(\frac{dV}{dt} = C^{te}\right)$ d'oxygène, il y a un palier de pression, laquelle, dans une troisième phase tend vers la pression atmosphérique ⁽³⁾.

La figure II-11 courbe 2 représente la véritable absorption de l'oxygène par le fer, rapportée à la pression atmosphérique. Son tracé est basé sur l'hypothèse ⁽⁴⁾ que la pression

⁽¹⁾ Cela prouve aussi qu'aucune réaction de condensation $H_2 + O \rightarrow H_2O$ n'a lieu.

⁽²⁾ Voir Bouasse : Capillarité 1924.

⁽³⁾ Nous avons vérifié que l'application de la loi de Poiseuille au régime non permanent des essais est parfaitement justifiée en constatant que le remplissage du volume vide *v*₀ du récipient *B* obéit à l'équation $V/v_0 = \text{th}(at)$, conséquence de la loi de Poiseuille et de celle de Boyle-Mariotte (*a* = constante).

⁽⁴⁾ Cette hypothèse est évidemment contestable. Nous nous proposons de reprendre ces essais avec des poudres débarrassées complètement d'hydrogène, le dégazage au moyen de la pompe à palettes étant insuffisant.

régnant dans le récipient *B* est due à l'oxygène n'ayant pas réagi et à l'hydrogène qui *resterait désorbé*.

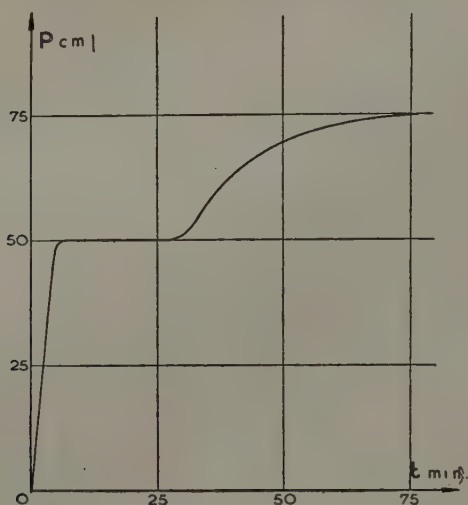


FIG. II-12. — Pression pendant l'absorption dans le récipient *B*.

2. 4. Résultats et Interprétation.

Dans le tableau II-10 nous avons résumé les résultats d'un certain nombre d'essais en indiquant, en particulier, les températures de réduction des préparations et leurs dimensions cristallines, la durée totale de l'essai, l'absorption totale d'oxygène par gramme de fer pur et l'absorption au bout de 50 min. où la passivation est acquise. On remarque que l'absorption jusqu'à passivation décroît lorsque la dimension cristalline croît (comparer essais 1 et 2, puis 4 et 5). L'absorption passivante (50 min.) varie entre 2,5 à 5 % d'oxygène en poids par g de fer.

Nous admettons que la phase d'absorption linéaire, correspondant à un processus de diffusion (d'atomes de fer vers le film d'oxygène et d'atomes d'oxygène dans le réseau de fer) processus lent à la température ordinaire, aboutit à la formation d'un oxyde de fer que nous supposons être de la magné-

ite. Dans ces conditions la quantité q d'oxygène absorbé par de fer est reliée à la surface libre S , au volume V des particules et à l'épaisseur x du fer qui s'oxyde par

$$q = \frac{S \cdot x}{V} \cdot \frac{A_o}{A_{Fe}} \cdot \frac{4}{3} \quad (\text{II-8})$$

où A_o et A_{Fe} sont les masses atomiques de l'oxygène et du fer.

TABEAU II-10

Passivation du fer pyrophorique.

AGENT DE PASSIVATION	AIR SEC	OXYGÈNE COMMERCIAL			OXYGÈNE PUR	
		1	2	3	4	5
Essais.....	A	1	2	3	4	5
Volume mort en cm ³	15	17	17	18,4	16,7	18,6
Poids du fer inactivé en g.	1,1482	1,550	0,712	0,550	0,9825	1,6455
Absorption d'oxygène en cm ³	39	35,7	21,9	11,9	41,6	65,2
Oxygène absorbé en g. pour 100 g. de fer pur..	5,13	3,47	4,7	3,25	6,58	6,13
Durée totale (en min.) de l'essai.....	900	896	152	196	876	1.325
Température de réduction en C°.....	350	400	320	350	320	350
Dimension moyenne en Å.....	300	460	210	300	210	300
Poids d'oxygène absorbé en 50 min. par 100 g. de fer pur.....	—	2,63	4,29	2,74	5,1	3,34
Épaisseur de Fe ₃ O ₄ après 50 min.....		11,2	8,4	7,64	9,9	8,7
— 900 —		14,8	—	—	12,85	—
— 1.325 —		—	—	—	—	17,1
en Å						

L'épaisseur de magnétite formée est $z = 2,13 x$, comme montre un calcul élémentaire. En supposant toutes les cristallites séparées, le rapport V/S sera proportionnel à la dimension linéaire L des cristallites et égal à $L/6$ dans le cas de cristallites sphériques de diamètre L ou cubiques d'arête L . L'épaisseur de magnétite formée se déduit alors de

$$z = 0,93. q. L. \quad (\text{II-9})$$

Les valeurs de z du tableau, basées sur une absorption de 50 min., cadrent d'une manière assez satisfaisante, vu le caractère d'approximation des hypothèses faites, avec la dimension de la maille de la magnétite : $a = 8,4 \text{ \AA}$.

La partie rectiligne de la courbe d'absorption correspondra donc à la formation d'un réseau plan de l'épaisseur d'une maille. A l'appui de ce résultat citons Haul et Winkel (1938) qui par diffraction électronique obtiennent le diagramme caractéristique d'un réseau plan de magnétite, formé sur une préparation de fer pyrophorique et inactivé (dans des conditions que les auteurs ne spécifient pas), alors que leurs diagrammes Debye ne révèlent pas la présence de Fe_3O_4 . De même sur nos clichés parfaitement clairs de poudres de fer inactivées, posées sans aucune précaution spéciale, on ne décèle aucune raie de Fe_3O_4 malgré la forte quantité pondérale présente (jusqu'à 23 %) et de longues poses focalisantes.

2. 5. Oxydation ultérieure.

L'inactivation ralentit considérablement l'oxydation ultérieure. La constitution d'une deuxième couche de magnétite met 30 à 50 fois plus de temps que la première. Sans avoir entrepris une étude systématique, nous avons noté les augmentations de poids à l'air sec des bâtonnets, préparés par compression sous 2 t/cm^2 des poudres inactivées et servant aux mesures magnétiques. La teneur en magnétite atteint 30 % en 2 semaines et 73 % en 2 ans et demi. Dans ce produit la dimension des cristallites, calculée d'après les largeurs des raies, serait de 50 \AA . En assimilant les particules primitives de fer à des sphères, attaquées uniformément par l'oxygène

épaisseur de la couche de magnétite engendrée ne serait que 0,46 fois le diamètre de la sphère de fer résiduel, ce qui du moins qualitativement s'accorde avec les grandes largeurs de raies observées de Fe_3O_4 . Mais de plus les raies sont diffuses, loin d'atteindre, dans la région de Bragg, les intensités correspondant aux proportions de Fe_3O_4 présentes. La cristallinité de la couche d'oxyde est donc très désordonnée, proba-

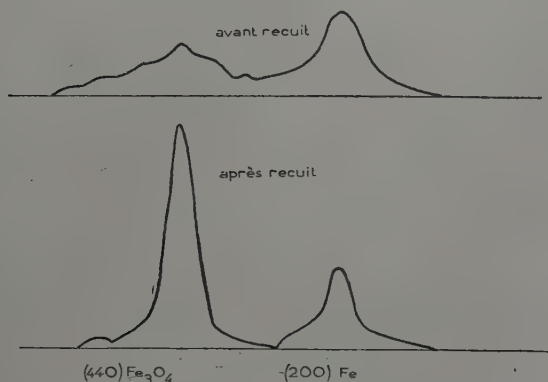


FIG. II-13. — Raies de Fe et Fe_3O_4 avant et après recuit d'un échantillon oxydé à 75 % de magnétite.

ement parce que dans l'empilement des strates d'oxygène suivant [III], des états intermédiaires entre Fe_3O_4 , FeO et Fe_2O_3 - γ sont localement réalisés.

Après un recuit de 12 heures à 350° C en tube scellé les raies de Fe_3O_4 reprennent leurs intensités normales (voir tableau II-12 et fig. II-13). Les dimensions mesurées de Fe et Fe_3O_4 sont alors sensiblement les mêmes, de 190 Å. Il est remarquable que le rapport des volumes des cristallites de fer initial et final ($((300/190)^3 = 3,9)$ est voisin du rapport des quantités de fer initialement et finalement présentes (3,6). Cela confirme également le mécanisme proposé de l'oxydation progressive en surface des grains individuels, les couches de Fe_3O_4 isolant les grains de fer et empêchant leur croissance dans un recuit modéré.

2. 6. Propriétés Magnétiques.

Au début, les propriétés magnétiques des poudres inactivées sont assez voisines de celles des poudres pyrophoriques. Lorsque le taux d'oxydation correspond à 75 % de magnétite, l'aimantation baisse de 25 %. Par contre le champ coercitif conserve remarquablement bien. Cela peut être dû à la cristallisation désordonnée qui fait que les domaines cristallins cohérents sont extrêmement petits. Car le recuit qui produit un rétrécissement sensible du cycle d'hystérésis fait disparaître le désordre et croître les cristallites. La saturation après recuit est encore en dessous de la valeur théorique d'une magnétite pure pour la raison déjà mentionnée p. 27 (Voir tableaux II-11 et II-12.)

TABLEAU II-11

Grandeurs Magnétiques et Oxydation.

	H_c	σ_R	$\sigma_{2.000}$	DURÉE DU SÉJOUR A L'AIR	TENEUR EN OXYGÈNE	TENEUR EN MAGNÉTITE
Essai A..	600	68,9	125,6	2 semaines	9 %	30%
	603	56,8	105,5	2 ans 1/2	26 %	75%
Essai B..	650	63,9	115	2 semaines	8,3%	28%
	—	52,9	95,5	2 mois 1/2	26 %	75%
	646	49	90,4	2 ans 1/2	27,5%	78%

TABLEAU II-12

Effet d'un recuit sur l'échantillon oxydé à 78 % de Fe_3O_4 .

	H_c	σ_R	$\sigma_{2.000}$	DIMENSIONS DES CRISTALLITES DE Fe_3O_4	CHUTE DE L'INTENSITÉ DE (440)
Avant recuit... ..	646	49	90,4	50 Å	60%
Après recuit de 12 heures à 350°C...	451	31,3	75,3	190 Å	0%

Notations : comme au tableau II-9, p. 27.

2. 7. Comparaison entre l'action de l'eau et de l'oxygène.

Bien qu'il y ait oxydation à l'état de Fe_3O_4 dans les deux cas, attaque à l'eau, action de l'oxygène par diffusion lente, les mécanismes de réaction (ionique dans le premier cas, atomique dans le second) et les propriétés des produits de réaction (magnétiques et dimensionnelles) diffèrent profondément. Alors que l'action de l'eau transforme la cristallite attaquée en une cristallite de magnétite plus grande sans que la réaction se propage facilement d'une cristallite à l'autre (conservation de la pyrophoricité!), l'oxygène gazeux par contre agit sur la totalité de la surface (inactivation rapide) en grignotant progressivement les cristallites, les domaines cohérents de Fe_3O_4 restant toujours très petits. Alors que les qualités magnétiques baissent rapidement dans le premier cas, elles se conservent relativement bien dans l'attaque à l'oxygène par diffusion lente.

3. Pyrophoricité, Énergie de surface et Chaleur de Dissolution.

3. 1. Pyrophoricité.

Certains auteurs admettent pour raison principale de la pyrophoricité une combustion catalysée d'hydrogène, adsorbé pendant la réduction. Mais la préparation de poudres pyrophoriques de FeO , par la décomposition de l'oxalate (p. 8), et de fer, par une décomposition spéciale de fer carbonyle (Haul Winkel, 1938), prouvent suffisamment que la présence d'hydrogène n'est pas un facteur essentiel. L'idée que la pyrophoricité est due à une oxydation superficielle instantanée dont la chaleur de réaction active suffisamment les atomes intérieurs pour qu'ils brûlent à leur tour n'est pas nouvelle (Tamann), mais ne semble pas avoir été mise en relation avec la dimension des cristallites. Nous proposons le mécanisme suivant : Si la pression initiale de l'oxygène est grande et constante, l'adsorption (« chimisorption ») d'oxygène qui est exothermique se fait instantanément sur toute la surface. La propa-

gation de la chaleur dégagée est, dans ces petites cristallites quasi instantanée. Elle porte la cristallite à une température d'autant plus élevée que le rapport surface/volume est grand. La diffusion des atomes et l'oxydation sont alors activées. Il doit exister un rayon critique à partir duquel le phénomène d'oxydation est autocatalytique. Nous admettons que pour des particules en dessous de ce rayon critique non seulement la chimisorption, mais aussi la phase d'«oxydation primaire» qu'elle induit et qui, dans la diffusion lente d'oxygène, aboutit à la formation d'un film à une maille de magnétite deviennent instantanées. En d'autres termes nous supposons que la chaleur dégagée dans l'oxydation primaire porte toute la particule à la température du rouge (où ensuite la combustion totale se poursuit). Nous en déduisons le rayon critique, en bon accord avec l'expérience.

En effet, en négligeant les pertes par rayonnement, l'élévation de température t d'une cristallite pourra être

$$t \leq n. s. Q / (N. c. v). \quad (\text{II-10})$$

Ici $N. c.$ est la chaleur atomique, de 6 cal. (N = nombre d'Avogadro; c = chaleur spécifique d'un atome). Q est la chaleur de combustion d'un atome-gramme de fer, de 90.000 cal.; s et v sont les nombres d'atomes superficiels et de volume et n est le nombre de couches de fer, intéressées dans la formation d'un réseau plan de Fe_3O_4 (ou $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-}\gamma$). Si l'on envisage des particules cubiques, $s = 6 l^2$, $v = 2 l^3$ et $n = 3$. Pour que la température du rouge sombre ($t = 700^\circ \text{C}$) puisse être atteinte, la dimension des cristallites doit d'après (II-10) être en dessous de l_c .

$$l_c = 200 \text{ équidistances, soit } 570 \text{ \AA.}$$

Or dans nos essais de réduction, la limite de pyrophoricité se situe vers 700 Å environ.

FeO . — Le même raisonnement appliqué à FeO pyrophorique, dans l'hypothèse de la formation instantanée d'un film de Fe_3O_4 à une maille ($Q = 23.000 \text{ cal.}$), montre que la dimension limite de pyrophoricité est de 200 Å, en bon accord avec

es dimensions de FeO pyrophorique que nous avons mesurées.

En résumé, la pyrophoricité est un phénomène coopératif jouant qu'en dessous d'une dimension critique des cristallites. Une théorie très simplifiée trouve la dimension critique être en accord avec les mesures des rayons X.

3. 2. Énergie de Surface et Chaleur de Dissolution.

Nous définissons l'énergie de surface par l'énergie des liaisons non saturées des atomes de surface. Elle peut être mise en évidence expérimentalement par la mesure de l'excès de chaleur de dissolution par rapport à des particules de comparaison très grandes.

L'énergie de surface d'un atome superficiel est une fraction de la chaleur de sublimation atomique W laquelle, en gros, représente le travail de « dissolution » du réseau ou encore l'énergie des valences réticulaires par atome-gramme.

Si nous notons par e_j l'énergie correspondant à la valence j , n_j le nombre de voisins manquants de l'espèce j et par $d(hkl)$ la densité d'occupation du plan (hkl) , sa « tension superficielle » sera $A(hkl)$

$$A(hkl) = d(hkl) \cdot \sum_j n_j \cdot e_j. \quad (\text{II-11})$$

Pour illustrer cette relation, désignons par e_1 et e_2 les énergies de chaque valence, relative respectivement aux 8 voisins à courte distance ($d_1 = a \cdot \sqrt{3}/2$) et aux 6 voisins à la distance $d_2 = a$ d'un atome, engagé dans le réseau du cube centré. L'énergie de surface par atome d'un plan (100), limitant la surface sera ⁽¹⁾

$$E_{100} = \frac{1}{2} (4 e_1 + 2 e_2). \quad (\text{II-12})$$

De même $E_{110} = \frac{1}{2} (2 e_1 + 2 e_2). \quad (\text{II-13})$

(1) Le facteur 1/2 vient de ce que chaque valence appartient à deux atomes. Voir aussi Stranski (1935) et Kaischew (1934).

On vérifie aisément que la tension superficielle du plan (110) est inférieure à celle de (100), puisque $e_1 > e_2$.

Le travail de « dissolution » d'un atome intérieur est évidemment

$$E = \frac{1}{2} (8 e_1 + 6 e_2). \quad (\text{II-14})$$

Pour dissoudre un atome-gramme de fer, engagé dans des cristallites limitées par des faces (100) et d'arête l . a, il faudra fournir le travail

$$T = N. (4 e_1 + 3 e_2) - \frac{3 \cdot N}{l} (2 e_1 + e_2) \quad (\text{II-15})$$

$$= T_V - T_S. \quad (N = \text{nombre d'Avogadro.})$$

Le premier terme T_V du second membre est très approximativement égal à la chaleur de sublimation W , soit environ 100 cal., le second T_S représente l'énergie de surface. Bien que la connaissance de l'énergie de sublimation ne permette pas d'assigner de valeurs individuelles aux énergies e_1 et e_2 , l'hypothèse $e_1 > e_2$ suffit pour établir l'inégalité

$$1,29. l^{-1} < \frac{T_S}{T_V} < 1,5. l^{-1}. \quad (\text{II-16})$$

D'après cette relation, les cristallites de fer, préparées par réduction à 640° C qui dans des expériences maintes fois reprises mesurent au moins 2.500 Å, soit $l = 880$, peuvent avoir au maximum une énergie de surface de 0,15 cal/atome-gramme. Si l'on y ajoute l'excès de chaleur de dissolution de 1,40 cal/at. que, d'après les mesures très soignées de Fricke et ses collaborateurs, présente une poudre pyrophorique, préparée à 350° C, le total, soit 1,55 cal/at. représente approximativement l'énergie de surface T_S de la préparation pyrophorique. La dimension cristalline qui lui correspond d'après (II-16) est alors de 80 à 95 l . a, soit de 250 Å environ.

En conclusion,

1) l'accord avec les mesures aux rayons X qui nous ont fourni des dimensions du même ordre de grandeur pour les

préparations pyrophoriques préparées entre 300° et 350° C est relativement bon.

2) Il n'est nullement nécessaire de faire intervenir des « perturbations de réseau » pour expliquer l'excès de chaleur de dissolution du fer pyrophorique.

3) Le résultat est en accord avec l'hypothèse déjà formulée de l'indépendance des cristallites (surface libre = surface totale des cristallites) dans le fer éponge.

Remarque. — L'hypothèse d'une forme particulière des cristallites importe peu. Si à la place de cristallites cubiques on envisage la forme du dodécaèdre rhomboédral, limité par les faces (110), d'énergie de surface minimum, la relation (II-16) est remplacée par la suivante, peu différente

$$1,21 \, l^{-1} < \frac{T_S}{T_V} < 1,41 \, l^{-1}$$

où l est la distance entre deux faces parallèles du dodécaèdre.

CHAPITRE V (II)

RECHERCHE DE PERTURBATIONS DE RÉSEAU ÉTUDE COMPARÉE DE POUDRES DE FER D'ORIGINES DIVERSES

Introduction.

Les perturbations de réseau se traduisent soit par des élargissements de raies, soit des chutes d'intensité, soit encore la superposition de ces effets. L'absence de perturbations à longue distance dans les poudres pyrophoriques a été déduite du fait que les largeurs de raie corrigées suivent une loi en $\cos^{-1} \theta$ et non pas en $\operatorname{tg} \theta$ (cf. chap. V (I) p. 546 et chap. III (II) p. 16). Pour affirmer l'absence de perturbations à courte distance, « rapidement variables », il faudra encore s'assurer de l'absence de chutes d'intensité.

1. Dispositif expérimental.

Nous nous sommes servis du dispositif schématisé dans la fig. II-14. Il permet la mesure simultanée des largeurs et intensités de raies. Son avantage principal réside dans la complète indépendance des fluctuations du réseau. Le principe consiste à enregistrer sur le même film et en même temps que la raie focalisée en F de l'échantillon plan à étudier, une

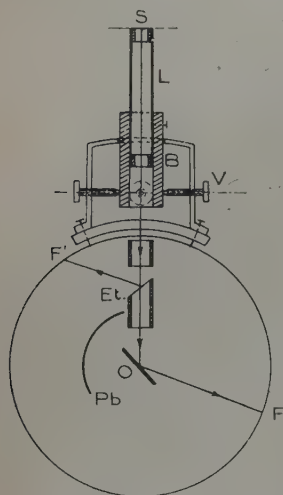


FIG. II-14. — Dispositif expérimental de mesures simultanées de largeurs et intensités de raies.

Et = feuille d'Al. : F' = raie « étalon » : O = échantillon.

Pb = écran : F = raie focalisée de l'échantillon.

raie « étalon », focalisée en F' , provenant de la réflexion préalable du faisceau incident sur une feuille d'aluminium. Celle-ci repose sur un cylindre creux, coupé en biseau et assez long pour absorber les raies d'Al diffractées par transmission. Un écran de plomb empêche la superposition des diagrammes et fonde continus des deux substances. On vérifie que d'une pose à l'autre la forme de la raie ne varie pas, ce qui assure que les raies (hkl) de l'échantillon à étudier, focalisées dans des poses successives, soient enregistrées dans des conditions identiques.

Nous avons étudié deux poudres pyrophoriques, l'une de fer, l'autre de fer-cobalt, préparées au laboratoire de M. le professeur Weil, et pour comparaison trois poudres des usines de Conflans, un fer ex-car-

bonyle — fer E —, le même après un recuit sous hydrogène — fer C 300 —, et enfin, comme exemple de perturbation par écrouissage, du fer Armco limé.

2. Intensités théoriques.

Dans le tableau II-13 sont consignés les indices, angles de Bragg et multiplicités des plans réflecteurs, les facteurs ato-

miques de Thomas-Fermi, corrigés du voisinage de l'arête d'absorption d'après Hönl (1931, 1933), les facteurs de Debye, en adoptant pour la température caractéristique du fer $\theta = 453^\circ \text{K}$, enfin les intensités relatives théoriques $I(hkl)/I(110)$ à 0°K et à la température ordinaire de 20°C . La chute d'intensité produite par l'agitation thermique est de 7,3 % pour (211) et de 11 % pour (220). Signalons que le « facteur d'absorption » $[\mu \cdot (1 + \sin \alpha / \sin (2\theta - \alpha))]^{-1}$ qui entre dans l'expression de l'intensité est le même pour toutes les raies focalisées.

Le noircissement des raies est mesuré au photomètre non enregistreur de Zeiss à échelle logarithmique (100 à 200 pointées par raie).

TABLEAU II-13

**Intensités de Réflexion d'un échantillon plan de Fer.
Radiation $\lambda \text{K}\alpha$ du fer.**

INDICES DES PLANS	(110)	(200)	(211)	(220)
Angle de Bragg.....	28°33'	42°32'	55°53'	72°57'
Facteur atomique (Thomas-Fermi-Hönl).....	24,7	11,75	10,2	9,1
Multiplicité.....	12	6	24	12
$I(hkl)/I(110)$ à 0°K	1,0	0,148	0,441	0,374
Facteur de Debye.....	0,967	0,927	0,893	0,859
$I(hkl)/I(110)$ à 20°C	1,0	0,143	0,409	0,333

3. Fer C 300.

La poudre est lourde et fine, d'un aspect grisâtre. Les pastilles agglomérées au polystyrène et comprimées à la main ont une densité de $D = 4,07$. Les raies D-S étant d'une netteté et finesse extrêmes, la poudre nous a servi de « substance de référence » (chap. III (II), p. 18). Les intensités photomé-

trées relatives sont très voisines des valeurs théoriques. La poudre C 300 est donc exempte de perturbations de réseau. Le tableau II-14 résume les largeurs de raie mesurées, corrigées du doublet et, pour comparaison, les largeurs de raie spectrales (intégrales) et la largeur de fente, et enfin les intensités mesurées:

Champ coercitif. — La valeur de H_c de la poudre est de 14,8 gauss.

4. Fer E (ex-carbonyle).

Historique. — Brill (1937) a étudié un fer E de préparation industrielle d'une pureté comparable à l'échantillon étudié par nous (1,2 % de C et une quantité d'oxygène du même ordre). Des très fortes chutes d'intensité qu'il trouve (17 % pour (211) et 25 % pour (220)) il déduit une amplitude moyenne de perturbation de $\sqrt{u^2} = 0,17 \text{ \AA}$, soit de 7 % de la distance entre voisins proches.

Haul et Winkel (1938) montrent la possibilité de préparer du fer E pyrophorique sous la forme d'un « aérosol », éponge ouatée d'une extrême légèreté (5 à 10 g/litre), en décomposant du fer carbonyle gazeux par un courant chaud d'azote. De la netteté des interférences électroniques ils déduisent l'absence de perturbations. La dimension des cristallites est de 90 Å.

Étude aux rayons X. — La poudre E étudiée ici est grise, lourde, se comprime bien à la main, la densité des pastilles étant de 3,87. Elle est peu poreuse (voir p. 24). Elle se présente sous le microscope comme un amas de sphérules d'un diamètre de l'ordre du μ . La dimension cristalline est du même ordre que chez Haul et Winkel. Le rapport des intensités (211)/(110) est voisin du rapport théorique. On peut donc affirmer que si la précision de la mesure ne permet pas d'exclure la présence de perturbations à courte distance, celles-ci sont certainement d'un ordre de grandeur inférieur à celui indiqué par Brill.

Il est remarquable qu'aux températures usuelles de production de fer E (220° C), les domaines cristallins sont tou-

jours de l'ordre de 100 Å, que la décomposition se fasse en phase concentrée (procédé industriel) ou diluée (Haul et Winkel). On conçoit que des sphérules compactes de l'ordre du micron puissent se développer en atmosphère concentrée, le fer carbonyle se décomposant facilement au contact d'une surface de fer existante, alors que cette croissance est empêchée par le courant diluant d'azote et l'évacuation rapide du produit dans le procédé de H. et W. Mais on ne voit pas pourquoi il y a croissance isotrope de sphérules par formation d'un très grand nombre de germes successifs (au moins 10^6) et non pas croissance d'un seul ou d'un nombre restreint de germes. Il y a évidemment l'effet de température qui influe sur la croissance des cristallites. Mais il ne faut pas perdre de vue que les impuretés principales, provenant de la décomposition du fer carbonyle, l'oxygène et le carbone qui dosent 1 % pondéral chacun, forment des proportions atomiques de l'ordre de 5 % chacun, donc au total du même ordre que le nombre d'atomes superficiels dans une cristallite de 100 Å. L'hypothèse de cristallites séparées, mais solidement cimentées par des couches monoatomiques de carbures ou d'oxydes est séduisante. Il semble donc que l'élimination des impuretés est un des facteurs importants qui limitent la croissance des cristallites. A l'appui de cette hypothèse, citons l'exceptionnelle microdureté du fer E et enfin la structure lamellaire révélée par l'attaque acide des sphérules (Beischer, 1939).

Champ coercitif. — H_c possède la faible valeur de 5,75 gauss.

5. Fer écroui Armco.

Les chutes d'intensité observées sont faibles et de l'ordre de l'erreur possible sur la mesure. On a $I(211)/I(110) = 0,39$ au lieu de 0,44.

La dimension « apparente » évaluée d'après la formule de Scherrer décroît de $L(110) = 280 \text{ Å}$ à $L(220) = 186 \text{ Å}$, en d'autres termes, la largeur de raie croît plus vite qu'en $\cos^{-1} \theta$. En admettant que la distribution des écarts de la distance

réticulaire et la forme de la raie de diffraction vraie soient du type courbe de Gauss, on trouve un degré de perturbation

$$[(\Delta d/d)^2]^{1/2} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ (1)}$$

et la dimension « vraie » des particules égale à 360 Å.

La comparaison des plans (211) et (110) fournit le même résultat. Naturellement, pour affirmer la nature isotrope de la perturbation, il faudrait comparer un plus grand nombre de plans.

Les valeurs de $(\Delta d/d)^2$ sont du même ordre que celles qu'indiquent d'autres auteurs (Haworth, 1937, Brindley et Ridley, 1938, 1939).

Champ coercitif. — Contrairement à ce que nous attendions, le champ coercitif n'est que de 20 gauss.

6. Fer 320 pyrophorique.

Le fer 320 provient de la réduction à 320° C pendant une heure du formiate ferreux. Très pyrophorique, il est protégé par du brai de goudron coulé sous vide sur la poudre. Les blocs de fer comprimés sous forme de plaquettes rectangulaires d'une densité $D = 4,2$ contiennent 17 à 18 % de brai. La magnétite est absente du diagramme D-S.

Les largeurs de raie sont corrigées d'après la méthode de Jones-Warren (chap. III (II) p. 19) et la nôtre, le fer C 300 servant de substance de référence. A l'intérieur de la précision expérimentale il n'y a pas de variation systématique de la dimension apparente L qui puisse s'interpréter comme indice d'une forme particulière ou de la présence de perturbations « lentement variables ». L est en moyenne de 230 Å.

Les intensités relatives ont leurs valeurs normales, contrairement aux mesures de Fricke (1937, 1938) qui trouve

(1) A la moyenne quadratique, rapportée à la maille moyenne, il y a lieu d'ajouter l'écart quadratique par rapport à la maille normale ($a_0 = 2,8610$). On trouve $a = 2,8635$. La correction à ajouter est $0,2 \cdot 10^{-3}$.

les chutes d'intensités allant jusqu'à 25 %. Nous avons repris nos mesures avec d'autres échantillons sans trouver des résultats différents. Les perturbations de réseau sont ou absentes ou d'un ordre de grandeur inférieur à celui indiqué par Fricke.

TABLEAU II-14

Fer C300.

INDICES DES PLANS	(110)	(110)	(200)	(211)	(220)
B.....	3,2-3,3	4,62	5,2	6,65	10,77
B _s	3,3	3,4	3,59	4,44	7,18
B _λ	0,76	0,885	1,49	2,4	5,3
F.....		2,81	—	—	—
I (hkl) / I (110) mesurée.....		100	15	42	33
I (hkl) / I (110) théorique.....		100	14,3	40,9	33,3

TABLEAU II-15

Fer E (ex-carbonyle).

INDICES DES PLANS	(110)	(200)	(211)
B.....	23,1	28,4	39,2
B _o	21,9	26,6	36,8
L en Å.....	95	99	94
I (hkl) / I (110) me- surée.....	100	14,3 ± 1	39,3 ± 1,1

TABLEAU II-16

Fer Armco limé.

INDICES DES PLANS	(110)	(211)	(220)
B.....	40,8	20,22	45,44
B ₀	7,95	15,8	35,4
Dimension apparente en Å.	277	218	186
I (hkl) / I (110).....	100	39	

TABLEAU II-17

Fer 320, pyrophorique.

INDICES DES PLANS	(110)	(200)	(211)	(220)
B.....	10,89	13,86	18,6	35,4
B _s	10,41	12,75	16,55	30,4
B ₀ (notre méthode).....	9,49	11,40	14,6	26,3
et Méth. Jones-Warren...	9,83	12,23	15,9	29,3
L (notre méthode).....	232	231	236	251
et Méth. Jones-Warren...	224	214	216	226
I (hkl) / I (110).....	100	15	42	34

TABLEAU II-18

Fer-Cobalt, pyrophorique.

INDICES DES PLANS	(110)	(200)	(211)	(220)
B.....	13,93	18,5	23,21	44,3
B ₀	12,42	16,3	19,6	36,1
L.....	177	161	176	186
I (hkl) / I (110).....	100	—	41,4	

7. Fer-Cobalt pyrophorique.

L'échantillon est préparé comme le précédent, les proportions de fer et de cobalt étant comme 70 : 30. Le réseau est celui du cube centré. La moyenne des mesures d'intensité relative $I(211)/I(110)$ est $0,411 \pm 0,016$, assez voisine de l'intensité théorique qui est de 0,414. La dimension moyenne est de 170 Å. Ici encore nous n'avons pas trouvé de perturbations s'exprimant par des chutes d'intensités ou des élargissements systématiques de raies.

Propriétés Magnétiques.— Bien que la compression ait fait baisser le champ coercitif, sa valeur dans les préparations pyrophoriques, 456 gauss pour le bloc de fer et 532 pour le fer-cobalt, est d'un autre ordre de grandeur que celle des trois poudres précédemment étudiées (5 à 20 gauss).

CHAPITRE VI (II)

PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES, EN PARTICULIER LE CHAMP COÛERCITIF

Dans une substance *massive* les domaines élémentaires de Weiss sont cloisonnés par des « parois » de transition dont l'épaisseur est de l'ordre de quelques centaines d'ångstroms. Le mécanisme de l'aimantation progressive d'une substance peut s'expliquer par leurs déplacements (translations et rotations) qui d'ailleurs ne mettent en jeu que de faibles énergies.

Dans une poudre *microcristalline*, par contre, où les dimensions cristallines sont de l'ordre de l'épaisseur des parois de Bloch, un tel mécanisme ne peut plus jouer. L. Néel a montré qu'au-dessous d'une dimension critique l'aimantation doit être uniforme dans la cristallite (1947) — le domaine de Weiss se confond alors avec le domaine cristallin. Les très grandes énergies mises en jeu dans un cycle d'hystérésis s'expliquent alors par l'intervention de deux facteurs principaux : l'*anisotropie magnétique* qui tend à maintenir l'aimantation dans

une direction d'aimantation facile et l'anisotropie de forme qui tend à maintenir l'aimantation suivant un axe privilégié (le plus long) de la cristallite. Il leur correspond respectivement le travail fourni contre les forces réticulaires et contre le champ démagnétisant. Les contributions individuelles au champ coercitif des anisotropies magnétiques et de forme sont très différentes, la première étant de l'ordre de 200 gauss et la deuxième de 1.000 gauss. On a approximativement :

$$H_m = 0,64 K/J \qquad H_f = 0,26 \pi J$$

K est la constante de l'énergie magnétocristalline,

$$K = 4,3 \cdot 10^5,$$

J est l'aimantation à saturation, $J = 1740$.

En résumé l'obtention de champs coercitifs élevés dans les poudres microcristallines de fer est liée à deux conditions premières : la *petitesse du domaine cristallin* et une *anisotropie de forme*.

L'intervention de la dimension des cristallites apparaît nettement sur le graphique de la fig. II-7, p. 21 et la dimension optimum aux environs de 200 Å coïncide avec celle, prévue par Néel. Quant à la forme des particules, l'étude des largeurs de raie (110), (200), (211), ne nous a pas permis de mettre en évidence une forme privilégiée par rapport à la maille cristalline (bâtonnet ou plaquette). L'étude de la distribution d'intensité d'une même raie ne fournit qu'une statistique des diamètres des grains. Or, celle-ci, correspondant à des fluctuations quadratiques de 20 à 25 % autour d'une dimension moyenne, n'est pas incompatible avec l'anisotropie de forme *extérieure*, non cristallographique, exigée par la théorie de Néel.

Cette théorie suppose négligeable l'interaction magnétique entre cristallites ; en d'autres termes, les *cavités* qui les séparent doivent être *grandes*. C'est là la troisième condition d'obtention de champs coercitifs élevés. Néel a montré qu'en première approximation (répartition isotrope des cavités) la chute du champ coercitif d'une poudre microcristalline est proportionnelle à d/d_0 . d et d_0 sont les densités réelles de la poudre et

de la substance massive. Cette loi a été bien vérifiée par J. Weil (1948, *b*) en suivant l'effet de la compression de la poudre sur le champ coercitif. Dans une deuxième approximation il convient de distinguer les trous « actifs » au point de vue magnétique qui séparent les cristallites faisant partie d'un même amas et les trous « inactifs » qui séparent les amas de cristallites. C'est pourquoi le fer *E* industriel et le fer Armco limé, bien que les deux premières conditions soient satisfaites, n'ont qu'un champ coercitif faible : les amas formés par les domaines de Bragg sont compacts ou peu poreux et leurs propriétés magnétiques sont par conséquent voisines de celles de la substance massive.

Le tableau II-19 résume les valeurs du champ coercitif des poudres étudiées au chap. précédent.

TABLEAU II-19

Champ coercitif de poudres de fer.

MATIÈRE	H _c EN GAUSS	ÉTAT	MODE DE PRÉPARATION
Fer E.....	5,75	poudre	Décomposition du fer carbonyle
Fer E recuit (C 300)...	14,8	—	Recuit modéré sous H ₂
Limailler...	20,0	—	Fer Armco, pulvérisé mécaniquement
Fer 320....	456,0	bloc d = 4,2 pyrophorique	Réduction du formiate ferreux
Fe-Co.....	532	—	Réduction du formiate Fe : Co = 2 : 1

Influence des Tensions Internes et des Perturbations de Réseau.

L'élargissement des raies D-S relatives au fer Armco limé nous a prouvé la présence de perturbations de réseau à longue

distance. Le faible champ coercitif montre que *les perturbations de réseau à longue distance ne peuvent jouer un rôle déterminant dans l'obtention de champs coercitifs élevés*. D'autre part, dans les poudres de fer pyrophoriques nous n'avons pas réussi à mettre en évidence des chutes d'intensité (dans les limites de précision de notre méthode) qui auraient pu prouver la présence de perturbations à courte distance.

De l'ensemble de l'étude il résulte que dans le cas de poudres de fer pyrophoriques *les valeurs élevées du champ coercitif sont dues non pas à des perturbations de réseau, mais à divers facteurs purement géométriques tels que la petitesse des domaines cristallins, l'anisotropie de forme, la présence de cavités* conformément aux prévisions de L. Néel (1947, 1949).

Résumé et Conclusions.

Avant d'aborder le sujet expérimental des relations entre les propriétés magnétiques, la texture et plus particulièrement les dimensions cristallines de poudres de fer, j'ai étudié de plus près les *moyens* de mesure de dimensions (largeurs de raies), la signification de paramètres qui figurent dans des formules universellement connues (1°), la possibilité de tirer des courbes expérimentales de noircissement de raies Debye-Scherrer un maximum de renseignements sur la répartition des dimensions cristallines (2°) et enfin les moyens d'augmenter la précision des mesures (3°). J'ai obtenu les résultats suivants :

1° Le paramètre de la « dimension apparente », soit L , qui dans la célèbre formule de Scherrer relie à la largeur d'une raie (hkl) et que plusieurs auteurs se sont efforcés d'exprimer dans l'hypothèse d'une forme cristalline particulière, peut recevoir l'interprétation statistique suivante qui n'a besoin d'aucune hypothèse supplémentaire sur la forme des cristallites :

La dimension apparente L est le rapport des moyennes quadratiques et simples des diamètres des cristaux, mesurés suivant la normale au plan réflecteur (hkl), les moyennes étant relatives à toute la masse diffractante.

2° *La transformée de Fourier de la raie de diffraction*

permet de mesurer séparément la dimension moyenne simple et quadratique des diamètres cristallins, les écarts simples (en valeur absolue) et quadratiques de la dimension moyenne et de juger de la symétrie ou asymétrie de la répartition des diamètres. Ces résultats sont appliqués au fer ex-carbonyle (fer E) et à une poudre de fer pyrophorique.

La dérivée seconde de la transformée de Fourier d'une raie Debye-Scherrer fournirait directement la fonction de répartition des diamètres cristallins si le tracé expérimental pouvait se faire avec précision.

3° Après examen critique des facteurs d'élargissement parasite, classés en deux catégories : facteurs spectraux (doublet et dispersion) et facteurs géométriques, on élabore de nouvelles méthodes de correction, l'une pour les largeurs, l'autre pour la forme des raies D-S.

Voici les résultats de l'étude expérimentale :

4° Les poudres de fer pyrophorique étant préparées par réduction du formiate ferreux $(\text{H-CO}_2)_2\text{Fe}$, $2\text{H}_2\text{O}$, j'ai d'abord étudié le mécanisme de la décomposition thermique de ce produit. J'ai pu ainsi mettre en évidence, par son diagramme D-S, l'existence de la variété anhydre du formiate ferreux, jouée d'une extraordinaire stabilité pour un sel organique puisqu'elle supporte un chauffage prolongé à 200°C . Cette variété n'a pas encore été signalée.

5° J'ai montré que l'aisance avec laquelle on obtient du fer pyrophorique par réduction à l'hydrogène à des températures relativement basses (250° à 320°C) s'explique par la formation primaire de très petites particules (60 à 130 Å) de FeO pyrophorique, produit par la décomposition thermique du formiate et plus facile à réduire que Fe_3O_4 dont il faut éviter la formation.

6° Par des mesures de largeurs de raie j'ai suivi en fonction de la température de réduction la croissance des particules de fer ; presque linéaire dans l'intervalle de 280° à 350°C où les cristallites croissent de 120 à 130 Å , elle varie ensuite très rapidement dans l'intervalle étudié, jusqu'à 640°C où les domaines de Bragg atteignent 2.500 Å .

7° Des mesures parallèles de champ coercitif indiquent l'existence d'une dimension critique de 180 à 200 Å où le champ coercitif passe par un maximum très accentué de l'ordre de 1.000 gauss, en accord avec les prévisions théoriques de Néel. Un fait nouveau, mais que d'autres études doivent préciser, semble être l'existence d'une deuxième dimension critique (aux environs de 60 Å) au-dessous de laquelle aucune aimantation ne peut se maintenir à la température ordinaire.

8° La texture spongieuse et le considérable développement de surface des poudres de fer pyrophorique sont illustrés par l'action de l'eau qui provoque un important dégagement d'hydrogène et par l'absorption d'oxygène, admis à travers des capillaires. Cette dernière étude permet d'affirmer que dans la phase primaire d'absorption, amenant la passivation des poudres, il se forme un film de Fe_3O_4 de l'épaisseur d'une maille, lorsque l'on suppose que la surface libre de la poudre coïncide avec la somme des surfaces des cristallites (et réciproquement).

Je signale, en passant, le mécanisme très différent des oxydations : transformation intégrale d'un cristal de fer en un cristal plus grand de magnétite, accompagnée d'une chute verticale du champ coercitif dans le cas de l'attaque de l'eau et de l'autre côté, par diffusion lente d'oxygène (ou d'air), oxydation superficielle progressant lentement vers l'intérieur des grains, les domaines de Bragg et de la magnétite formée restant toujours très petits et le champ coercitif se conservant remarquablement bien.

9° Les phénomènes de pyrophoricité et d'excès de chaleur de dissolution s'expliquent parfaitement en les reliant à la dimension et à la surface libre des particules sans avoir à faire intervenir des perturbations de réseau !

10° Des mesures combinées d'intensité et de largeurs de raies il résulte l'absence de perturbations à courte et à longue distance dans les poudres de fer et fer-cobalt pyrophoriques, réduites à 320°C.

11° Une étude parallèle d'autres poudres de fer montre que

a) l'influence des perturbations de réseau sur le champ coercitif est faible dans les poudres de fer (Fer Armco limé);

b) la petitesse des domaines de Bragg n'est pas une condition suffisante d'obtention de champs coercitifs élevés (fer *E*, peu poreux).

12° En conclusion, les prévisions théoriques de L. Néel suivant lesquelles les champs coercitifs étonnamment élevés des poudres de fer pyrophorique sont dus non pas à des perturbations de réseau, mais à la coexistence de trois facteurs essentiellement géométriques à savoir : a) domaines de Bragg au voisinage d'une dimension critique (200 Å), b) une anisotropie de forme⁽¹⁾, c) porosité élevée rendant négligeables les interactions entre cristallites, se trouvent bien vérifiées.

(1) Ce facteur n'est pas directement accessible aux rayons X, l'anisotropie non cristallographique, exigée par Néel, n'est pas contredite par des mesures de fluctuations autour d'une dimension moyenne.

BIBLIOGRAPHIE

- BEISCHER, D. (1939). — *Z. Elektrochem.*, Dtsch., 45, 310.
- BOUASSE, H. (1924). — *Capillarité*, Delagrave, Paris.
- BRILL, R. (1937). — *Z. Phys.*, Dtsch., 105, 380.
- BRINDLEY, G. W. et RIDLEY, P. (1938). — *Proc. phys. Soc.*, G.-B., 50, 501.
- BRINDLEY, G. W. et RIDLEY, P. (1939). — *Proc. phys. Soc.*, G.-B., 51, 432.
- BROCHET, R. (1920). — *Bull. Soc. chim. Fr.*, 27, 897.
- CAUJOLLE, G. (1939). — *C. R. Acad. Sci.*, Fr., 208, 445.
- COMPTON, A. H. et ALLISON, S. K. (1935). — *X-Rays in theory and experiment*, Mac Millan, Londres.
- ELMORE, W. C. (1938). — *Phys. Rev.*, U. S. A., 54, 1092.
- FRICKE, R., LOHRMANN, O. et WOLF, W. (1937). — *Z. phys. Chem. B.*, Dtsch., 37, 60.
- FRICKE, R., LOHRMANN, O. et WOLF, W. (1938). — *Z. phys. Chem. B.*, Dtsch., 39, 476.
- HAUL, R. et WINKEL, A. (1938). — *Z. Elektrochem.*, Dtsch., 44, 611.
- HAWORTH (1937). — *Phys. Rev.*, U. S. A., 52, 613.
- HOENL, H. (1933, a). — *Ann. Phys.*, Dtsch., 38, 625.
- HOENL, H. (1933, b). — *Z. Phys.*, Dtsch., 84, 1.
- JONES, F. W. (1938). — *Proc. r. Soc.*, Sér. A, G.-B., 166, 16.
- KAISCHEW, R. (1934). — *Z. Kristallogr.*, Dtsch., 88, 325.
- KASANZEV, V. (1935). — *Z. phys. Chem.*, A, Dtsch., 174, 370.
- KOPP, W. (1919). — Thèse, Zurich, 22.
- NEEL, L. (1946). — *Ann. Univ. Grenoble*, 22, 299.
- NEEL, L. (1947). — *C. R. Acad. Sci.*, Fr., 224, 1530.
- NEEL, L. (1949, a). — *Ann. Géophys.*, Fr., 5, 99.
- NEEL, L. (1949, b). — *C. R. Acad. Sci.*, Fr., 228, 664.
- ROBERTS, J. K. (1935). — *Proc. r. Soc.*, Sér. A, G.-B., 152, 445.
- STRANSKY, I. N. (1935). — *Ann. Phys.*, Dtsch. (5), 23, 330.
- TAYLOR, A. (1945). — *X-ray metallography*, 224, édit. Chapman et Hall, Londres.
- TSCHUFAROFF, G. et AWERBUCH, B. (1939). — *Acta physicochim.*, U. R. S. S., 4, 617.
- WARREN, B. E. et BISCOE, J. (1938). — *J. Am. Ceram. Soc.*, 21, 49.
- WEIL, L. — Thèse, Strashbourg 1942.
- WEIL, L. (1948, a). — *C. R. Acad. Sci.*, Fr., 227, 48.
- WEIL, L. (1948, b). — *C. R. Acad. Sci.*, Fr., 227, 1347.
- WEIL, L. (1949). — *C. R. Acad. Sci.*, Fr., 229, 584.
-

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DE LA STRUCTURE ET TEXTURE DE POUDRES DE FER PYROPHORIQUE ET DE LEURS PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES

	Pages
INTRODUCTION.....	2
HISTORIQUE.....	3

CHAPITRE I

Décomposition thermique du Formiate ferreux.

— Préparation.....	4
— Mécanisme de réaction.....	6
— Décomposition d'un formiate mixte de fer-cobalt.....	8
— Décomposition de l'oxalate ferreux.....	8
— Résumé et conclusions.....	8

CHAPITRE II

Réduction du Formiate ferreux aux basses températures.

— Préparation.....	9
— Croissance des cristallites de fer.....	11
— Naissance et destruction de FeO et Fe_3O_4	11
Conclusions.....	13

CHAPITRE III

Réduction du Formiate ferreux aux températures élevées.

— Préparation.....	13
— Mesure de dimensions.....	14
— Discussion des résultats.....	16
— Méthode de Jones-Warren.....	19
— Croissance des cristallites en fonction de la température... ..	19
— Étude magnétique.....	20

CHAPITRE IV

Étude de surface et texture.

Propriétés chimiques de poudres de fer pyrophorique.

Introduction.....	23
— Action de l'eau.....	23
4-1. — Description de l'essai.....	23
4-2. — Comparaison avec le fer <i>E</i> industriel.....	24

1-3. — Produits de réaction.....	26
1-4. — Transport de réactivité.....	26
1-5. — Grandeur de cristallites et texture.....	26
1-6. — Propriétés magnétiques.....	26
2. — Oxydation par diffusion lente d'oxygène.....	26
2-1. — Inactivation à l'air.....	26
2-2. — Inactivation à l'oxygène.....	26
2-3. — Mécanisme de l'absorption.....	26
2-4. — Résultats et interprétations.....	31
2-5. — Oxydation ultérieure.....	31
2-6. — Propriétés magnétiques.....	31
2-7. — Comparaison entre l'action de l'eau et de l'oxygène.....	31
3. — Pyrophoricité, Énergie de Surface et Chaleur de Dissolution.....	31
3-1. — Pyrophoricité.....	31
3-2. — Énergie de surface et chaleur de dissolution.....	31

CHAPITRE V

Recherche de perturbations de réseau.

Étude comparée de poudres de fer d'origines diverses

Introduction.....	4
1. — Dispositif expérimental.....	4
2. — Intensités théoriques.....	4
3. — Fer C 300.....	4
4. — Fer E (ex-carbonyle).....	4
5. — Fer écroui Armco.....	4
6. — Fer 320, pyrophorique.....	4
7. — Fer-cobalt pyrophorique.....	4

CHAPITRE VI

Le champ coercitif.....

Résumé et Conclusions.....

BIBLIOGRAPHIE.....

SUR QUELQUES TYPES D'ARCHITECTURE CRISTALLINE DES COQUILLES DE MOLLUSQUES

II. LA « MACLE » DES COQUILLES DES PATELLES

PAR G. SABATIER,

Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Sommaire. — La couche de calcite des coquilles de Patelle est formée de prismes rayonnant du sommet vers les bords et présentant alternativement deux orientations cristallographiques ; l'ensemble forme une sorte de « macle » polysynthétique, différente des macles classiques de la calcite.

Les coquilles de Patelles, bien connues de tous, pour leur forme en chapeau chinois, sont formées de deux couches. Une couche de calcite, extérieure, et une couche de nacre, intérieure, et présente seulement au voisinage du sommet. Nous ne nous occuperons ici que de la couche de calcite.

On voit, au microscope, qu'elle est formée d'assises successives de prismes très allongés, dont les axes, sensiblement parallèles à la surface de la coquille, sont perpendiculaires aux lignes de croissance. Ces prismes rayonnent donc du sommet de la coquille vers ses bords

Entre nicols croisés, on reconnaît qu'ils prennent deux orientations cristallographiques qui alternent, l'ensemble formant une sorte de « macle » polysynthétique. La fig. 1 montre quelques-uns de ces prismes lorsque l'une des orientations est à l'extinction.

En lumière convergente on peut observer simultanément les figures dues à chacune des deux orientations. On reconnaît ainsi que les axes optiques sont symétriques par rapport à un plan perpendiculaire à l'axe des prismes. Les projections des deux axes optiques sur le plan de la coquille font un angle voisin de 100° .

Pour préciser la loi de la « macle », on a effectué des clichés de cristal tournant, avec rotation autour d'une perpendiculaire à l'axe des prismes, cette perpendiculaire étant dans un cas normale, et dans l'autre tangente à la surface de la coquille.

Le premier cliché montre que la rangée $[\bar{1}11]$ est commune aux deux éléments de la macle; elle est normale à la surface de la coquille. Dans chacun des éléments de la macle, il existe une face du rhomboèdre inverse e^1 (110) qui passe par la rangée $[\bar{1}11]$; le second cliché montre que ces faces sont parallèles entre elles et à l'axe des prismes. La fig. 2 résume ces

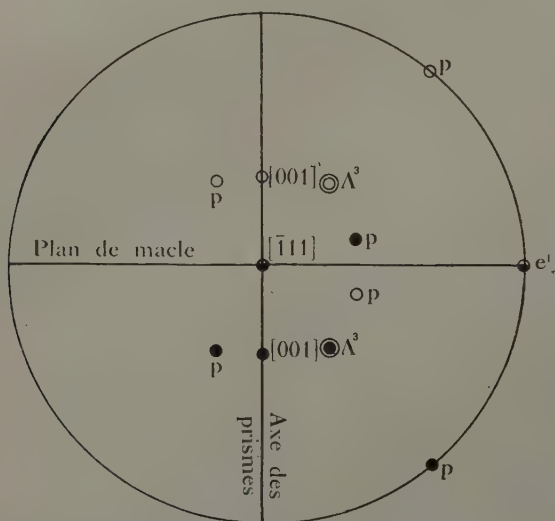


FIG. 2. — Projection stéréographique sur le plan de la coquille de quelques pôles cristallographiques des deux éléments de la « macle ».

résultats; c'est une projection stéréographique sur le plan de la coquille. Le pôle central est $[\bar{1}11]$; les pôles de l'axe ternaire, des faces p et de la rangée $[001]$, sont figurés par un cercle noir pour un des éléments de la macle, et par un cercle blanc pour l'autre; il existe deux faces e^1 dont les pôles confondus sont figurés par un cercle panaché sur le plan équatorial; on a enfin représenté la direction de l'axe des prismes, et la trace

du « plan de macle » par rapport auquel les deux éléments de la macle sont symétriques. Ces résultats sont en accord avec les propriétés optiques.

On observe naturellement, comme dans toutes les coquilles de mollusques où il existe un ordre « quasi cristallin », des fluctuations importantes autour des positions moyennes que nous venons d'indiquer et qui peuvent atteindre plusieurs degrés.

Pour comprendre la nature de cette « macle » d'un aspect très étrange, considérons deux cristaux de calcite orientés l'un vis-à-vis de l'autre comme le sont les prismes de la Patelle.

Ces deux cristaux peuvent être accolés selon un plan P qui aura la notation e^1 pour chacun d'eux, et dans ce plan la rangée $[\bar{1}11]$ leur sera commune. Examinons la disposition des nœuds du réseau dans P ; la maille élémentaire y est construite sur les rangées $[\bar{1}11]$ et $[001]$; $[\bar{1}11]$ est commune aux deux plans réticulaires en contact, et les deux rangées $[001]$ sont symétriques par rapport à $[\bar{1}11]$. La fig. 3 montre cette disposition, et il apparaît immédiatement que les deux réseaux

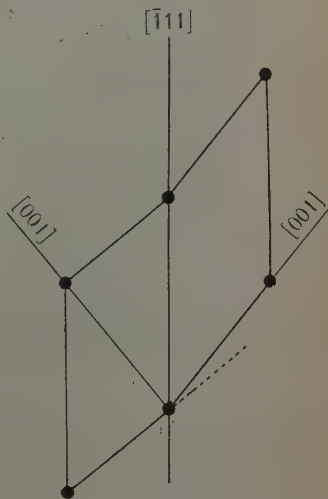


FIG. 3. — Maille des deux éléments de la macle dans le plan e^1 .

sont presque parallèles. Par ailleurs la rangée $[\bar{1}22]$ est dans chaque cristal presque perpendiculaire à P. On voit donc que lorsqu'on franchit P, pour passer d'un cristal à l'autre l'orientation des réseaux subit une discontinuité, mais qui n'est pas très grande.

Imaginons maintenant que nos deux cristaux de calcite ne soient pas véritablement monocristallins, mais formés de cristallites ayant seulement même orientation, à quelques degrés près, comme c'est bien le cas pour les prismes de Patelle. Le

petit écart dans l'orientation des réseaux, lorsqu'on franchit P est alors sans signification, et on peut dire que dans toute l'étendue des deux cristaux, l'orientation des réseaux des cristallites est sensiblement constante. De ce point de vue, le plan d'accroissement P ne joue pas de rôle essentiel et on peut concevoir une zone de contact de forme tout à fait quelconque. Il nous semble que c'est dans cette quasi-continuité de l'orientation du réseau cristallin que réside l'explication de la « macle » des Patelles, comme la quasi-continuité du réseau lui-même est la condition des macles proprement dites.

Remarquons enfin qu'il existe une autre orientation qu'on doit rapprocher de la précédente, où les deux éléments de la macle n'auraient pas seulement en commun $[\bar{1}11]$, mais aussi $[001]$; il s'agirait alors de la macle classique e^1 de la calcite. Il est curieux que la Patelle ayant mis en contact les briques de sa coquille de sorte que deux faces e^1 soient parallèles, elle les oriente comme nous venons de l'expliquer, et non selon la macle classique.

Nota. — Comme dans l'article précédent les notations de Miller se réfèrent à la maille déterminée par les rayons X (rhomboïde e^3) et non au rhomboïde de clivage p .



FIG. 1. — Texture de la couche de calcite de la coquille de Patelle.
Lumière polarisée $\times 200$.
L'un des systèmes de prismes est à l'extinction.

NOTE SUR QUELQUES MINÉRAUX RARES DU GROUPE DES PHYLLITES

PAR CH. KIEFER,

Ingénieur-docteur,

Chimiste en chef de la Manufacture Nationale de Sèvres.

Sommaire. — Rappel des conclusions d'un travail antérieur définissant les différents facteurs conditionnant la stabilité thermique des minéraux phylliteux et les distinctions à faire au sein d'une même variété entre les échantillons ordinaires bien cristallisés et ceux altérés faciès argileux. Application de ces résultats à l'étude de phyllites contenant des ions rares tels que Mn^{++} , Mn^{+++} , Cr^{+++} et à une phyllite à feuillets ouverts du type octaédrique $3 Mg^{++}$. Place de ces minéraux dans une classification méthodique des minéraux phylliteux.

L'étude systématique des propriétés physiques des minéraux phylliteux et plus particulièrement de leur déshydratation thermique (les températures de début de déshydratation, le début et de fin de déshydratation rapide et de fin de déshydratation ont été mesurées avec une montée en température de $100^{\circ}/h$) nous a permis de préciser les facteurs dont dépend la stabilité thermique de ces minéraux et de montrer que l'on pouvait distinguer deux et même trois variétés différentes au sein de chaque espèce minérale considérée jusqu'à présent comme unique.

Nous avons ainsi vérifié (Kiefer, thèse, p. 46) que *la stabilité des phyllites dépend* : *a)* de la symétrie du réseau, *b)* de la symétrie des liens valenciels des cations dans la couche octaédrique, *c)* du rapport entre le volume des cations et le volume laissé par les oxygènes dans la couche octaédrique.

a) *La stabilité est d'autant plus grande que le réseau est plus symétrique.* Les minéraux à doubles feuillets symétriques sont plus stables que les minéraux analogues à feuillet dissymétrique. C'est ainsi que l'on relève les séries suivantes :

feuillelet octaédrique type 3 Mg^{++}

phlogopite	1.120, 1.140 — 1.210, 1.230
talc	900, 925 — 1.010, 1.030
antigorite	590, 665 — 750, 800

feuillelet octaédrique type 2 Al^{+++}

muscovite	765, 785 — 905, 940
pyrophyllite	640, 690 — 780, 850
kaolinite	430, 490 — 570, 730.

b) Pour un même type de feuillelet *la stabilité croît avec symétrie des liens valenciels à l'intérieur de la couche octaédrique*. Le passage du type 2 Al^{+++} à 3 Mg^{++} augmente symétrie et la stabilité.

c) Dans les minéraux phylliteux la couche Si_2O_5 fixe la distance séparant deux oxygènes voisins et le volume des vides où se placent les cations. *La stabilité est maximum pour les ions dont le volume est identique au volume du vide laissé entre les oxygènes. Pratiquement par suite de la déformabilité limitée des ions la stabilité maximum est observée*, ainsi que nous l'avons vérifiée, *sur des ions de volume légèrement inférieur au volume de ce vide*. Lorsque les ions sont peu déformables ou trop gros, la stabilité décroît par suite de la distorsion du réseau. Le système 3 Mg^{++} ($Mg^{++} = 0,78 \text{ \AA}$) est un des plus stables. Les systèmes contenant Ni^{++} ($0,78 \text{ \AA}$) et même Fe^{++} ($0,83 \text{ \AA}$) sont aussi stables. Des systèmes contenant Mn^{++} ($0,91 \text{ \AA}$) sont, ainsi que nous le vérifierons sur la manganophyllite, nettement moins stables. De même le passage du type 2 Al^{+++} ($Al^{+++} = 0,57 \text{ \AA}$) aux systèmes contenant Fe^{+++} ($0,67 \text{ \AA}$) diminue la stabilité. Nous confirmerons aussi cette conclusion dans la suite sur le mica mangnésifère contenant Mn^{+++} ($0,70 \text{ \AA}$) et des minéraux chromifères ($Cr^{+++} = 0,65 \text{ \AA}$). Ces variations de stabilité peuvent se traduire par des relations encore empiriques.

Les phénomènes d'érosion ou de broyage au laboratoire dans des solutions électrolytiques diluées produisent des altérations physiques auxquelles peuvent s'ajouter plus rarement

es altérations chimiques. Un des cas d'altération physique es plus typiques est celui présenté par la muscovite, qui, en échantillons bien cristallisés, se déshydrate entre 765, 785° — 805, 940° et après altération physique par simple broyage à eau par exemple, se déshydrate entre 445, 450° — 550, 600°. Les variétés altérées argileuses correspondent ainsi que nous avons vérifié (Kiefer, thèse, p. 31) aux argiles : illites, glimmerites, etc... Nous avons pu aussi rencontrer des échantillons en petits cristaux de quelques millimètres de côté, ne présentant pas de traces visibles d'altération, mais dont la déshydratation se fait en deux fois, aux températures caractéristiques des variétés normale et altérée. La somme des quantités d'eau de constitution éliminées au cours de ces deux départs correspond exactement à celle de la muscovite.

Le phénomène d'altération physique est général à tous les minéraux phylliteux et souvent reconnaissables au faciès argileux. Il est caractérisé par une diminution notable de la stabilité thermique et une modification profonde des propriétés physiques telles que la dilatation-retrait, l'analyse thermique différentielle (crochets endo et exothermiques). Il est important de noter à ce sujet que la stabilité et la zone de déshydratation sautent d'une façon brusque et pratiquement sans transition de la zone du minéral ordinaire à une autre à plus basse température, aussi bien définie et qui est caractéristique du minéral altéré. *La composition chimique et la structure n'étant pas affectées dans le cas d'une altération physique* nous avons distingué les variétés en ajoutant au nom du minéral les symboles α pour la variété macrocristalline ordinaire et β ou γ pour les variétés argileuses moins stables. Nous avons ainsi établi sur ces données une classification plus complète tenant compte de la structure et des variétés d'altérations. Il est aussi intéressant de noter que le stade de stabilité minimum du minéral s'il est surtout commun pour les échantillons dégradés et altérés, s'observe aussi sur des échantillons dans lesquels le minéral est en voie de formation. (C'est le cas par exemple des pseudomorphoses.)

Nous avons alors utilisé l'ensemble de ces résultats :

— soit à vérifier les conclusions auxquelles nous avions abouti sur des minéraux contenant des cations assez rares trouver en quantité importantes chez les phyllites, tels que Mn^{++} ou Cr^{+++} ;

— soit à déterminer l'existence de certains minéraux non identifiés comme tels devant se trouver dans la classification en prévoyant leur zone de déshydratation, leurs courbes de dilatation et d'analyse thermique et à vérifier que les minéraux que nous avons déterminés comme tels, lorsque nous avons pu les trouver, possédaient bien les propriétés que nous avions prévus.

C'est ainsi le cas d'un mica contenant Mn^{+++} des types α et β , d'une pyrophyllite du type β au chrome, d'une montmorillonite chromifère et d'une montmorillonite uniquement magnésienne.

LA MANGANOPHYLLITE

La structure de la manganophyllite peut être rapportée à celle de la phlogopite. La teneur en ions Mn^{++} ne dépasse pratiquement jamais la moitié des cations octaédriques et n'est que du 1/3 dans l'échantillon de Pajsberg que nous avons étudié.

$(Si^{++++} 2,86, Al^{+++} 1,14) (Mn^{++} 1,09, Mg^{++} 1,68, Mn^{+++} 0,20, Fe^{++} 0,20) O^{10} (OH)^2 (K^{+} 0,85, Na^{+} 0,05, Ca^{++} 0,01.)$

La déshydratation se fait en une seule fois entre 1.080 et 1.120° avec une perte d'environ 4,2 % d'eau sur cuit : la zone de déshydratation confirme les relations qualitatives déduites de l'encombrement des ions et de la symétrie des liens valenciels. En effet la symétrie parfaite du type 3 Mg^{++} confère une grande stabilité comme dans la phlogopite, mais la substitution de Mg^{++} (0,78 Å) par l'ion Mn^{++} très gros (0,91 Å) à la limite de l'encombrement maximum du vide central des octaèdres d'oxygène (thèse, p. 47) diminue sensiblement la stabilité. On vérifie que l'eau de constitution est expulsée à haute température au delà de 1.000°, mais cepen-

ant à une température nettement inférieure à celle de la phlogopite.

Manganophyllite de Pajsberg

(Suède)	1.065, 1.085 — 1.135, 1.140°
Manganophyllite de Suède ..	1.085, 1.090 — 1.110, 1.125
phlogopite	1.120, 1.140 — 1.210, 1.230.

MUSCOVITE MANGANÉSIFÈRE DE MESVRES (Saône-et-Loire).

La présence d'ions Mn^{+++} en quantité importante dans la phyllite n'avait pas encore été signalée. Nous avons trouvé une mica en petits cristaux brun jaune dont environ $\frac{1}{4}$ des cations de la couche octaédrique du type $2 Al^{+++}$ est constitué d'ions Mn^{+++} . Le calcul de la formule structurale à partir de l'analyse centésimale n'est possible que si on admet que le manganèse se présente sous formes d'ions divalents.

$Si^{+++} 3,81$, $Al^{+++} 0,19$
 $Al^{+++} 0,47$, $Fe^{+++} 0,52$, $Mn^{++} 0,43$, $Mg^{++} 0,57$, $Ti^{++} 0,03$
 $O^{10}(OH)^2 (K^{+0,27}, Na^{+0,08}, Ca^{++} 0,12)$.

La couche de cations de liaison est très incomplète et laisse penser que le minéral a subi une altération, ce qui serait en accord avec son origine détritique (sables de rivière).

On constate aussi que l'élimination de l'eau de constitution se fait en deux fois : d'une part 2,06 % entre 385, 450 — 515, 45 et d'autre part 3,57 % entre 545, 565 — 770, 840°. Après broyage de quelques heures en laboratoire on vérifie que le départ à haute température, caractéristique de la variété α a disparu au profit du premier qui devient unique et est caractéristique de la variété altérée β . Simultanément comme pour toutes les variétés altérées la teneur en eau d'humidité d'interposition croît et passe de 3,59 % sur le minéral naturel à 4,14 % après 12 heures de broyage et à 9,76 % après 40 heures, tandis que la quantité totale d'eau de constitution rétrograde de 5,53 à 4,45 puis à 3,19 %. La substitution dans la couche octaédrique d'ions Al^{+++} (0,57 Å) par

des ions plus gros notamment Mn^{+++} (0,70 Å) diminue la stabilité. On vérifie en effet que la déshydratation de ce mica complexe de Mesvres dans sa variété α se fait avant celle de la muscovite α .

Mica de Mesvres α	545, 565 — 770, 840
Muscovite α	765, 785 — 905, 940.

On vérifie sur la variété β que tous les minéraux d'un même groupe structural et du type β se déshydratent à des températures identiques sans distinction des substitutions octaédriques. Il semble que la zone ainsi définie corresponde à la stabilité minimum propre du réseau.

Mica de Mesvres β (Mn^{+++} , Fe^{+++} , Al^{+++} , Mg^{++})	385, 450 — 515, 540
Glauconie (Fe^{+++} , Al^{+++} , Fe^{++})...	410, 440 — 560, 620
Muscovite β ou illite (Al^{+++}).....	415, 450 — 550, 600

LA FUCHSITE

La substitution dans la couche octaédrique (du type $2 Al^{+++}$) de la fuchsite, de Al^{+++} par Cr^{+++} n'est jamais très importante et ne porte guère que sur le 1/10 des ions Al^{+++} . Dans ces conditions on peut présumer que le remplacement d'un ion Al^{+++} (0,57 Å) sur 10 par un ion Cr^{+++} (0,65 Å) n'affectera pas sensiblement la stabilité. En effet la zone de déshydratation d'une fuchsite type du Tyrol (Schwarzenstein) est très voisine de celle des muscovites α .

Fuchsite du Tyrol.....	700, 785 — 960, 995°
Muscovite α	765, 785 — 960, 940°.

Le léger décalage vers les hautes températures de la fin de la déshydratation pourrait être attribué à une plus grande déformabilité de l'ion Cr^{+++} résultant de plus nombreuses couches électroniques périphériques, ce qui faciliterait les phénomènes d'adsorption à haute température.

LE CHROME-OCRE

Nous avons recherché si l'on pouvait trouver des phyllites contenant des ions Cr^{+++} en quantité notable, nous avons dans cet esprit étudié des échantillons de chrome-ocre de la région d'Autun (Montagne des Écouchets). Certains échantillons à l'aspect corné, vert clair, contiennent du chrome-ocre associé à un hydroxide caractérisé par un départ d'eau important (9,40 %) sur Ech. (n° 157) compris entre 260, 305 — 385, 400°. Les autres échantillons d'aspect terreux, vert sombre, ne présentent que le départ d'eau de constitution du chrome-ocre (4,66 %) compris entre 470, 520 — 660, 680°. Il était alors intéressant de vérifier si le chrome se trouvait dans ces échantillons sous forme d'oxyde mélangé à une phyllite comme cela était admis ou faisait partie du réseau de la phyllite comme le laissait penser la déshydratation.

La comparaison des spectres de Debye Scherrer du chrome-ocre et de l'oxyde de chrome est significative. Les raies sont différentes et les raies intenses de Cr_2O_3 ne se retrouvent même pas en halo sur le cliché du chrome-ocre telles celles de 1,66 et 2,16 Å ou aucune ambiguïté n'est possible. Les autres raies principales de Cr_2O_3 plus voisines des raies du chrome-ocre sont encore trop éloignées pour qu'elles puissent être confondues. Le chrome-ocre présente toutes les raies de base des phyllites : 10,5 — 4,5 — 2,58 — 2,45 — 2,28 — 2,07 — 1,81 Å. Le chrome dans le chrome-ocre appartient donc au réseau. Celui-ci est du type à doubles feuillets symétriques du type 2Al^{+++} . Étant donné que le chrome-ocre ne contient pas d'alcalis, on peut le rapporter à une pyrophyllite partiellement substituée. Le calcul sur cette base, des analyses connues, confirme cette conclusion (sauf évidemment pour les analyses faites sur des mélanges tels que les échantillons cornés que nous avons déjà signalés).

Le faciès terreux du chrome-ocre et l'impossibilité de diminuer sa stabilité par broyage, indiquent que l'on se trouve devant une variété du type β . La courbe de dilatation-retrait,

analogue à celle de la pyrophyllite β , confirme cette hypothèse. On vérifie aussi que la zone de déshydratation est analogue à celle de la pyrophyllite β conformément à la règle que nous avons déjà vérifiée : tous les minéraux de même

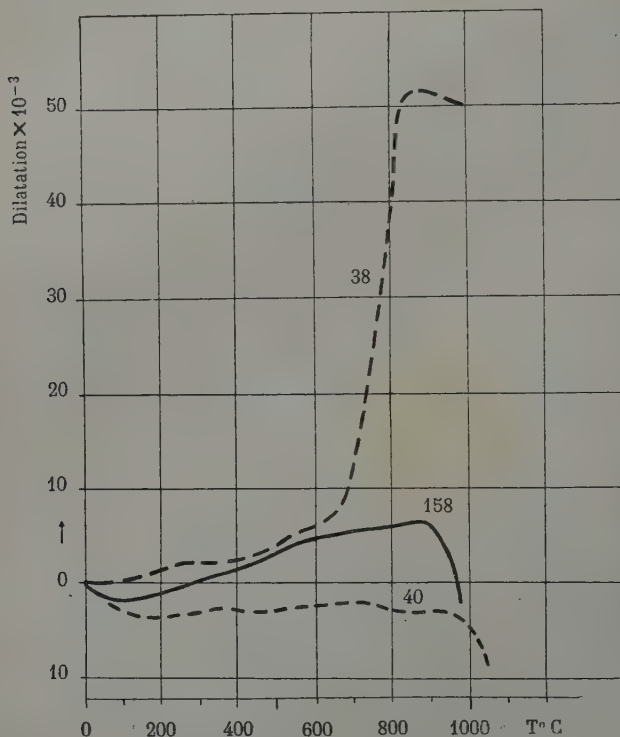


FIG. 1. — Dilatation-retrait du chrome-ocre (100°/h.).

- chrome-ocre de la montagne des Écouchets, courbe n° 158,
- pyrophyllite α d'Orange (U. S. A), courbe n° 38,
- pyrophyllite β de Westana (Suède), courbe n° 40.

type de feuillets et différents par des substitutions octaédriques, présentent la même stabilité sous la forme β .

Le chrome-ocre est donc une phyllite et doit figurer dans la classification comme une variété de pyrophyllite partiellement substituée et du type altéré β .

LA WOLCHONSKOÏTE

La wolchonskoïte est un minéral de faciès argileux vert ombre, amorphe, en nodules ou en rognons qui n'est guère connue qu'à Okhansk en Russie. Il se trouve en petits filons dans les sables ferrifères de la formation permienne.

Nous avons pu examiner un fragment de l'échantillon carac-

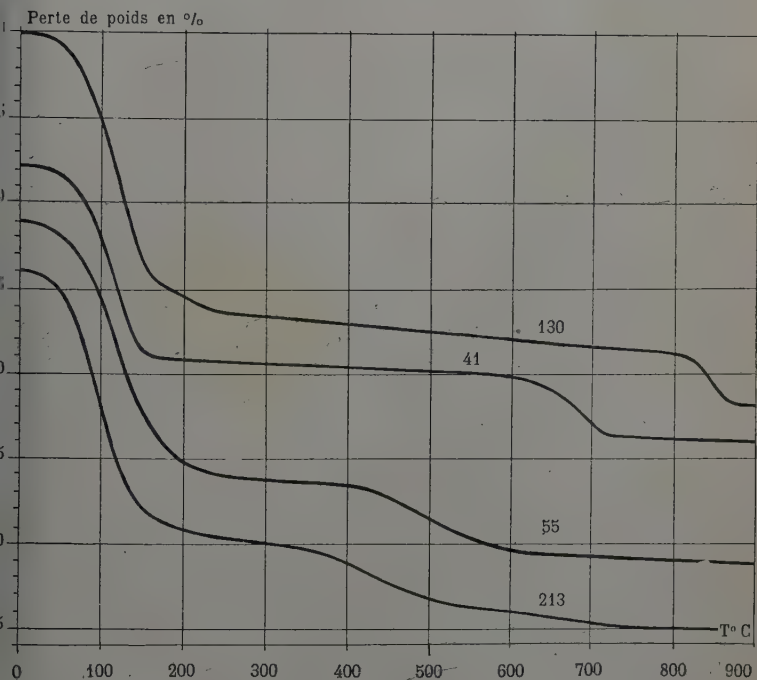


FIG. 2. — Déshydratation thermique des phyllites à 10 Å à feuillets ouverts (100°/h.).

- phyllite type 3 Mg^{++} . Saponite du cap Léopard, Cornouaille (Grande-Bretagne), courbe n° 130,
- phyllite type 2 Al^{+++} . Montmorillonite du Wyoming (U. S. A.), courbe 41,
- phyllite type 2 Fe^{+++} . Nontronite de Marcognac (France), courbe 55,
- phyllite type 2 Cr^{+++} . Wolchonskoïte d'Okhansk (Russie), courbe 213.

téristique de cette localité, conservé dans la collection de l'École des Mines.

Sa déshydratation se fait en deux fois. Tout d'abord à basse température entre 30, 40 — 135, 190°, avec perte de 22 % d'eau puis entre 350, 390 — 535 et 580°, avec perte de 5,70 % d'eau de constitution. Ce minéral se présente donc à priori comme un minéral à double feuillet.

Les analyses chimiques connues de ce minéral appuient cette interprétation. Elles peuvent se résoudre (sous réserve d'impuretés faussant le calcul) à un minéral à doubles feuillets symétriques à couche octaédrique type 2Al^{+++} presque totalement substitué par Cr^{+++} et Fe^{+++} .

L'examen de ces analyses montrent aussi que le silicium et l'aluminium présents sont insuffisants pour assurer la continuité de la couche tétraédrique. Si l'on admet qu'une petite quantité d'ions Fe^{+++} peut se trouver en position tétraédrique, le réseau est parfaitement défini. Le principe de l'admission de Fe^{+++} dans la couche tétraédrique en remplacement de Si^{++++} et Al^{+++} est difficile à expliquer mais il a déjà été reconnu dans certaines hornblendes très ferrifères. Les minéraux dans lesquels cette substitution se produit sont mal cristallisés et moins stables que les autres, le réseau étant distordu.

L'examen aux rayons X confirme pleinement ces hypothèses. La wolchonskoïte est un minéral cristallin mais mal cristallisé. Avec le dispositif ordinaire utilisé dans cette étude on ne relève que les trois raies suivantes :

T F flou	vers 17,0	Å
F flou	4,5	—
f flou	2,57	—

La présence en grande quantité de fer et de chrome qui sont tous les deux très absorbants explique la pauvreté du diagramme.

Ces trois raies suffisent cependant pour attribuer à la wolchonskoïte, en accord avec l'analyse chimique, la structure de la montmorillonite.

Ce fait concorde avec la déshydratation. On relève en effet un départ d'eau très important à basse température. La stabilité du minéral sera très inférieure à celle de la montmorillonite.

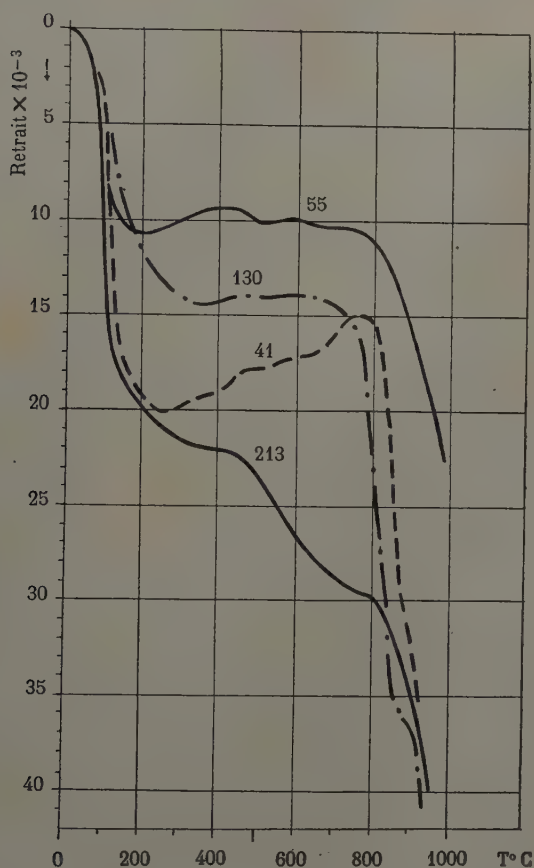


Fig. 3. — Dilatation-retrait des phyllites à 10 Å à feuillets ouverts (100°/h.). Saponite (courbe n° 130), montmorillonite (courbe n° 41), nontronite (courbe n° 55), wolchonskoïte (courbe n° 213).

te, étant donné la substitution de Al^{+++} par Fe^{+++} et Fe^{++} . Elle devrait être analogue à celle de la nontronite, Fe^{+++} (0,65 Å) étant voisin de Fe^{+++} (0,67 Å). Nous cons-

tatons que la stabilité est un peu inférieure. Ceci serait en accord avec les perturbations introduites par la substitution extraordinaire de Fe^{+++} dans la couche tétraédrique et qui n'est vraisemblablement possible qu'avec une distorsion du réseau.

La wolchonskoïte se présente donc comme un minéral très spécial mais qui doit figurer dans la classification des minéraux phylliteux dans le groupe de la montmorillonite. Elle représente une nontronite dont la couche octaédrique est substituée aux $2/3$ environ par Cr^{+++} ($2 \text{ Fe}^{+++} + 4 \text{ Cr}^{+++}$) et dont une petite partie de la couche tétraédrique serait substituée par Fe^{+++} .

LA SAPONITE

Nous avons étudié un échantillon de « soapstone » provenant du cap Lézard en Cornouailles et se présentant sous forme de masses jaunâtres à éclat gras et cassure conchoïdale analogue à celles de la montmorillonite.

Il se déshydrate en deux fois. Une première fois à basse température entre $45, 68 - 170, 220^\circ$ avec perte de $23,84\%$ d'eau sur cuit. Une seconde fois entre $810, 822 - 865, 880^\circ$ avec perte de $4,62\%$ d'eau sur cuit, qui correspond à l'eau de constitution.

La quantité d'eau de constitution est caractéristique des minéraux à double feuillet symétrique. La zone de déshydratation correspond à celle du talc γ : étant donné la grande quantité d'eau éliminée à basse température, ce minéral ne peut être rattaché directement au talc, car même les variétés altérées sont moins hydratées. Nous avons alors été amené à envisager la possibilité d'un minéral à double feuillet exfolié.

Les rayons X permettent de vérifier cette hypothèse et doivent présenter dans ce cas une raie de grand écart réticulaire supérieure à 10 \AA et voisine de 14 \AA .

Le diagramme X de ce minéral confirme entièrement ces conclusions. Voici la liste des écarts réticulaires observés

14,50 Å.....	T T F
7,40.....	halo
4,90.....	f
4,55.....	F
3,65.....	f flou
2,94.....	} f flou
2,925.....	
2,65.....	} f flou
2,575.....	
2,05.....	f
1,53.....	T F

On peut remarquer, outre la raie à 14,5 Å caractéristique d'un minéral ouvert, les raies principales de 4,55 et 1,53 Å qui correspondent aux raies principales de 4,48 et 1,49 Å de la montmorillonite. On retrouve sur les clichés de talcs ces raies de 4,55 et 1,53 Å mais en général moins intenses. La présence d'un halo à 7,4 Å peut être attribuée à une réflexion anormale de la raie de grand écart réticulaire de 14,5 Å, soit à une très petite quantité d'antigorite α que l'on pourrait détecter à l'analyse thermique par le petit crochet endothermique à 650° et l'amorce du crochet exothermique à 850° qui se superpose au crochet endothermique caractéristique du

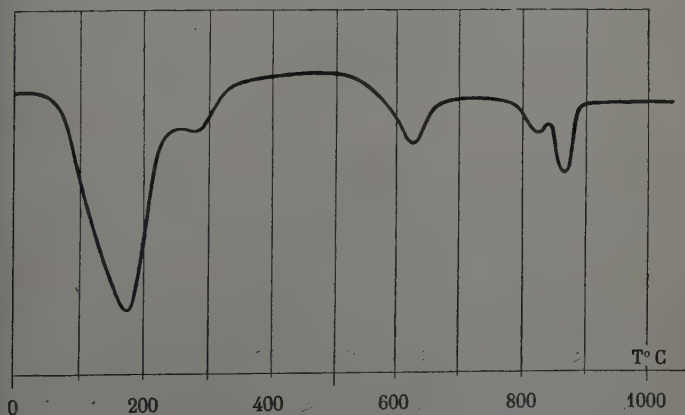
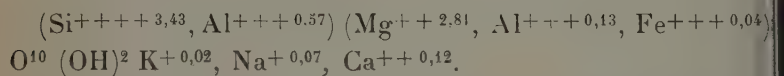


FIG. 4. — Analyse thermique différentielle de la saponite (600°/h.).
Saponite du cap Lézard (courbe n° 130).

départ d'eau de constitution de la saponite : 800 — 900° (amplitude maximum 850°). Le dédoublement du crochet à basse température est analogue à celui des montmorillonites.

Il ne fait aucun doute que ce minéral du cap Lézard est avant tout un minéral à feuillets ouverts analogue à la montmorillonite. Mais la zone de déshydratation de ce minéral est très supérieure à celle de la montmorillonite. On peut difficilement concevoir un réseau type montmorillonite de base 2Al^{+++} dans lequel Al^{+++} serait remplacé par un ion augmentant la stabilité. Par contre l'examen des résultats exposés sur la stabilité nous conduit facilement à supposer l'existence d'un réseau plus stable type 3Mg^{++} .

Un minéral à feuillet ouvert de couche octaédrique type 3Mg^{++} n'a encore jamais été signalé. Seule l'analyse chimique peut lever l'incertitude. Or celle-ci peut se mettre sous la forme :



Le réseau de base n'est donc pas celui de la pyrophyllite type 2Al^{+++} mais bien celui du talc type 3Mg^{++} .

L'examen des analyses fournies par la littérature nous a montré que ce minéral s'apparente aux saponites qui ont même composition chimique et dont le faciès et les gîtes sont identiques à ceux de notre échantillon. Il nous semble, dans ces conditions, logique d'assimiler ce soap-stone aux saponites.

La saponite est donc un minéral phylliteux qui doit figurer dans la classification. Sa structure est analogue à celle du talc, mais les doubles feuillets sont ouverts et de l'eau zéolitique se place entre eux : 4 à 5 molécules d'eau environ dans les conditions normales.

Ce minéral, outre l'intérêt de sa connaissance, permet de combler une lacune dans la classification des minéraux ouverts type 3Mg^{++} qui peuvent exister contrairement à ce que l'on admettait jusqu'à présent. Il reste d'ailleurs que les forces interatomiques conditionnant la stabilité du réseau et

la genèse du minéral étant plus grandes dans le type 3 Mg^{++} que dans le type 2 Al^{+++} : les minéraux ouverts type Al^{+++} seront plus abondants, ce qui est vérifié. Mais la possibilité de trouver des minéraux ouverts type 3 Mg^{++} n'est pas exclue pour cela.

L'examen de ces quelques variétés de phyllites contenant des cations inhabituels rares dans ce groupe de minéral nous a permis de vérifier la généralité des conclusions auxquelles nous avons abouti par la considération des phyllites communes. Nous avons pu aussi vérifier que ces conclusions pouvaient servir à définir les caractères phylliteux d'un minéral mal connu et de préciser des points de structure sans avoir été obligé de faire d'abord les spectres X. Il est ainsi possible en vue de combler une lacune dans la classification de rechercher rapidement dans les échantillons nombreux ayant des appellations erronées, ceux qui sont intéressants, de les retoucher et de les examiner ensuite en détail et de confirmer par les rayons X leur structure.

Il ressort aussi de ces conclusions qu'il y a lieu d'adopter une classification plus précise que celle en usage, qui tiendrait compte de la structure et des propriétés physiques, ce qui mettrait en évidence les variétés d'altérations. Celles-ci sont peu nombreuses et définies par des caractères physiques spécifiques. Voici à titre d'exemple la classification que nous proposons et où figurent les quelques minéraux rares que nous avons étudiés plus haut.

BIBLIOGRAPHIE

- IEFER, Ch. (1949). — *C. R. Acad. Sc., Fr.*, 229, 1021.
IEFER, Ch. (1950). — *C. R. Acad. Sc., Fr.*, 230, 977.
IEFER, Ch. (1951). — *Rev. Mat. Const.*, B, nos 422 à 432, Thèse, Paris, 1950.
-

TABLEAU 1. — Classification méthodique des minéraux phylliteux.

MINÉRAUX PHYLLITEUX TYPE	TYPE OCTAÉDRIQUE 3 Mg++		TYPE OCTAÉDRIQUE 2 Al+++	
	α	β	α	β
7 Å	Antigorite (ex β) 590, 665 — 750, 800	Antigorite (ex. α) 490, 585 — 680, 720		Kaolinite 430, 490 — 570, 730 Halloysite 390, 475 — 560, 700
	Talc α 900, 925 — 1.010, 1.030	Talc β 830, 870 — 950, 970 Talc γ 790, 800 — 900, 930 Saponite 810, 825 — 865, 880	Pyrophyllite α 610, 690 — 780, 850	Pyrophyllite β 450, 500 — 630, 700 Chromocro 470, 520 — 660, 680 Montmorillonite 570, 630 — 700, 710 Nontronite 370, 390 — 500, 595 Volchonskoïte 350, 390 — 535, 580
10 Å	Phlogopite Mg α 1.120, 1.140 — 1.210 1.230	Phlogopite Mg β 850, 885 — 1.100, 1.125	Muscovite α 765, 785 — 905, 940	Muscovite β (ILLITE) 415, 430 — 550, 600 Argile des Marnes 430, 450 — 560, 650 Glauconie 410, 440 — 560, 620 Mica de Mesvres β 380, 410 — 550, 600
	Phlogopite ferreuse 1.120, 1.140 — 1.230, 1.255 Manganophyllite α 1.075, 1.090 — 1.125, 1.135 Biotite α 1.010, 1.085 — 1.140, 1.150 Lépidolite α 750, 840 — 930, 1.030	Lépidolite β 705, 770 — 920, 940	Mica de Mesvres α 545, 565 — 770, 840	
11 Å	Clinocllore α 650, 820 — 900, 920	Clinocllore γ 525, 550 — 600, 650 770, 800 — 830, 850	Margarite α 785, 860 — 975, 1.020	

DESCRIPTION D'UNE CHAMBRE PHOTOGRAPHIQUE POUR LA PRISE DE DIAGRAMMES DE DEBYE-SCHERRER, D'ÉCHANTILLONS PORTÉS A TRÈS BASSES TEMPÉRATURES

PAR L. BOUTTIER ET J.-M. DUNOYER,
Laboratoire de Chimie-Physique, 11, rue Pierre-Curie, Paris.

Sommaire. — On décrit une chambre photographique pour la prise de diagrammes de Debye-Scherrer d'échantillons portés à très basse température. Le système de refroidissement de l'échantillon se fait par passage d'un courant d'air très froid passant sur l'échantillon, un couple thermoélectrique permet de contrôler à tout instant la température de l'échantillon. On peut, avec le dispositif décrit, porter l'échantillon à des températures comprises entre $+ 200^{\circ}\text{C}$ et $- 155^{\circ}\text{C}$ à $\pm 1^{\circ}$ près. Le centrage de l'échantillon dans la chambre est réalisé par construction et ne peut donc être déréglé.

L'étude des réseaux cristallins des corps solides à basse température par la méthode de diffraction des rayons X ne comporte jusqu'à présent qu'un assez petit nombre de résultats expérimentaux. Dans son ouvrage sur les basses températures en physique, Ruhemann (1937) décrivait déjà plusieurs dispositifs permettant de résoudre ce problème expérimental. Certains des appareils décrits permettent de porter l'échantillon à des températures voisines du zéro absolu ; ils ont à peu près tous l'inconvénient d'être d'une réalisation et d'un maniement difficiles. En 1946, Ubbelohde et Woodward (1946) ont indiqué une méthode de refroidissement de l'échantillon qui doit donner de bons résultats, ils ne disent malheureusement pas comment sont réalisés la mise en place et le centrage de l'échantillon dans la chambre photographique. Nous décrivons ici un dispositif d'un maniement facile qui comprend à la fois le système de refroidissement de l'échantillon et la chambre photographique elle-même, en utilisant les principes indiqués par l'un de nous (L. Bouttier, 1951).

Système de refroidissement.

Le système de refroidissement est constitué par un tube en laiton A de 10-12 mm. de diamètre, plongeant dans de l'air ou mieux, de l'azote bouillant ; la longueur de ce tube n'est pas critique et dépendra de la hauteur à laquelle se trouve la chambre au-dessus du réservoir de gaz bouillant. Dans le montage que nous avons utilisé la longueur du tube A était de 50 cm.

Le tube A est relié par un pas de vis au tube B, en maillechort, lié lui-même par soudure à la chambre photographique. La position de B dans la chambre est définie par le passage travers le trou a et la bague D. Le tube est relié à une pompe à vide par l'intermédiaire d'un volume de quelques litres servant de régulateur de la vitesse d'aspiration. La bague D servant au centrage du tube B est percée sur son pourtour par un aussi grand nombre de trous que possible pour ne pas entraver l'aspiration.

De cette façon l'azote ou l'air bouillant monte par aspiration dans le tube A où il se vaporise, le gaz froid ainsi produit débouche

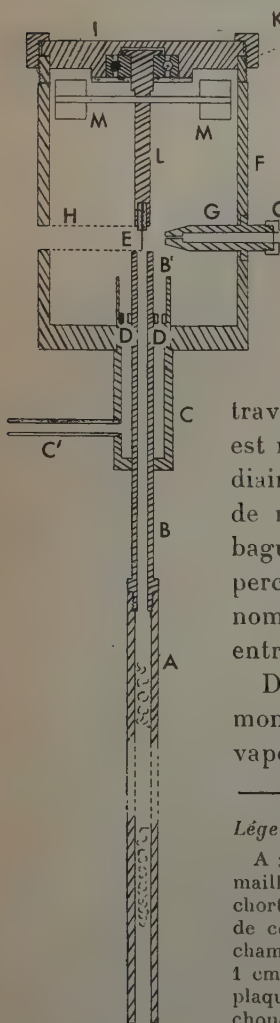


FIG. 1.

Légende de la figure 1.

A : tube plongeant dans l'azote bouillant, B : tube en maillechort, B' : tube en maillechort, C : tube en maillechort, C' : tube relié à une pompe rotative, D : bague de centrage percée, E : échantillon, F : corps de chambre cylindrique, G : collimateur, H : fente de 1 cm. de hauteur dans le corps de la chambre, I : plaque de fermeture de la chambre, J : joint en caoutchouc, K : bague de serrage, L : broche support d'échantillon, M : masselotte en acier pour la rotation de l'échantillon sur lui-même.

à l'extrémité du tube B au niveau de l'échantillon E qui est porté ainsi à basse température ; un couple thermo-électrique (non représenté sur la figure) traversant la chambre suivant un diamètre et dont la position est telle que la soudure soit juste en face de l'orifice du tube B, permet de mesurer la température du courant gazeux. Suivant le débit de l'aspiration, l'azote à l'état liquide monte plus ou moins haut dans le tube A et par suite la température du gaz à son passage sur l'échantillon est plus ou moins basse.

Ce système de refroidissement, qui a été utilisé par l'un de nous (Dunoyer, J.-M., 1951), pour étudier la cristallisation de l'octanol, donne des résultats satisfaisants jusqu'à -75°C environ, la constance de la température étant assurée à $\pm 2^{\circ}$ près. Au delà, la constance de la température n'est plus satisfaisante parce qu'il arrive que de petites gouttes liquides arrivent jusqu'à la préparation, ce qui abaisse momentanément la température de façon considérable.

Nous avons essayé de remédier à cet inconvénient en bourrant le tube A de tournure de cuivre. Cet artifice a amélioré les choses sans éliminer cet inconvénient.

A l'occasion d'une recherche en cours sur l'alcool méthylique M. B. Dreyfus-Alain (1952) a modifié de façon heureuse le système de refroidissement. Au lieu d'aspirer de l'azote bouillant qui se vaporise dans le tube d'amenée dans la chambre, on souffle de l'air sec qui est refroidi dans des serpentins plongeant dans l'azote bouillant. On peut obtenir une vitesse de déplacement du gaz très rapide et la température de l'échantillon peut être abaissée jusqu'à -155°C avec une très bonne constance. Il faut seulement prendre garde que la longueur et le diamètre des serpentins soient suffisants pour complètement assécher le courant d'air. Si cette précaution n'est pas prise, on risque d'avoir sur l'échantillon, un dépôt de givre. Cette méthode est d'une mise en œuvre très simple, elle a le petit inconvénient d'être très dispendieuse en azote liquide.

Chambre photographique.

La chambre photographique est faite comme les tubes C et B, en maillechort, la faible conductibilité de ce métal permet tant d'éviter un refroidissement excessif de l'ensemble de la chambre.

La partie essentielle de la chambre est un cylindre F de 86 mm. de diamètre extérieur et de 68 mm. de diamètre intérieur. Ce cylindre est percé pour livrer passage au collimateur G soudé sur le cylindre. L'extrémité extérieure du collimateur est obturée par une rondelle de plomb, percée elle-même d'un trou de 2 mm. et par une rondelle de papier noir. Cette rondelle assure l'étanchéité du collimateur à la lumière visible ainsi que l'étanchéité à l'air puisqu'elle s'appuie sur le petit trou (2 mm.) percé dans la rondelle de plomb. Les rondelles de plomb et de papier sont serrées sur la tranche terminale du collimateur par l'écrou G'.

Exactement en face du collimateur, on pratique dans le cylindre F une fente H de 10 mm. de hauteur sur une profondeur égale au demi-diamètre de F. Le diamètre défini par les deux extrémités de la fente H doit être rigoureusement perpendiculaire au diamètre défini par l'axe du collimateur. On assure une étanchéité suffisante de la chambre à la lumière naturelle et à l'air en collant sur les bords de celle-ci un morceau de papier noir. Le collage est une opération assez délicate, car il faut qu'il soit étanche et que la colle résiste à des températures assez basses. En effet, au cours d'une pose de deux heures, l'échantillon étant au-dessous de -100°C , il se forme sur toute la chambre une couche de givre et la température du cylindre lui-même descend aux environs de -40°C . Pour effectuer le collage, nous avons essayé d'abord l'araldite à froid, mais celle-ci se détache du métal à basse température. Des résultats assez satisfaisants ont été obtenus avec des colles du commerce genre séccotine.

Le film photographique de format 35×180 mm. est appliqué sur le papier noir obstruant la fente H, son milieu étant

au point d'intersection du cylindre F et de l'axe du collimateur G. Le film est fixé sur le cylindre par deux bracelets de caoutchouc. Par-dessus le film on applique une feuille de caoutchouc de dimensions nettement supérieures à celles du film, et fixée également par des bracelets de caoutchouc. Le rôle de cette feuille est double, elle protège le film d'une part de la lumière, permettant ainsi de travailler dans une pièce éclairée, d'autre part de l'humidité provoquée par le givrage sur la chambre.

Support d'échantillon.

Le cylindre F est formé à sa partie supérieure par une plaque I s'emboîtant exactement dans le cylindre intérieur de G. Il est nécessaire que l'ajustage de ces deux pièces soit aussi précis que possible sans que la plaque I n'entre à frottement trop dur dans F. C'est cet ajustage qui assure, comme on va le voir, le bon centrage de l'échantillon. L'étanchéité est assurée par une rondelle de caoutchouc I et serrage par la bague filetée K.

Dans la face intérieure de la plaque I est encastré un roulement à billes de petite dimension portant lui-même une broche L de 6 mm. de diamètre, dont la longueur est telle que son extrémité inférieure vient affleurer au niveau de la bague H. Le montage sur roulement à billes permet la rotation de l'échantillon sur lui-même, au moyen d'un électromoteur tournant à l'extérieur de la chambre et entraînant les poulies M. Ce dispositif n'est d'ailleurs pas pleinement satisfaisant à très basse température où le roulement se coince. L'extrémité inférieure de la broche L est percée suivant son axe d'un trou de 3 mm. dans lequel entre à frottement légèrement dur un manchon en laiton lui-même percé d'un trou de 0,4 mm. de diamètre. C'est dans ce manchon que l'on place l'échantillon sous forme, soit d'un fil, soit d'un tube capillaire à paroi mince contenant la poudre ou le liquide dont on veut prendre le diagramme. L'échantillon dépassera le petit manchon sur une longueur de 10 mm. de sorte que le fais-

ceau de rayons X sortant du collimateur vienne le frapper dans son milieu. On voit que la chambre ainsi conçue, ne comporte, contrairement à ce qui se fait généralement, aucun dispositif de réglage du centrage de l'échantillon. Celui-ci se trouve centré par construction. Il est, en effet facile, au tout de bien centrer l'un par rapport à l'autre le cylindre F et la plaque I. Le trou percé dans l'axe de L à sa partie inférieure est centré par le tour, de même que le petit manchon de laiton et son trou axial. La seule partie délicate dans la construction de la chambre est la fixation du collimateur de façon que son axe soit exactement suivant un diamètre, et la perpendicularité de la broche L et de la plaque I ⁽¹⁾. Si l'exécution de ces pièces est bonne, on a l'avantage de ne plus avoir à se préoccuper du centrage de l'échantillon, il suffit seulement de bien placer le collimateur dans le faisceau de rayons X. Cet avantage est particulièrement appréciable quand on travaille sur des échantillons très transparents au rayonnement X et dont on ne peut pas voir la trace sur un écran fluorescent.

Cette chambre, que nous cherchons actuellement à améliorer encore, est en service depuis un peu moins d'un an, donnant des résultats satisfaisants. Elle s'est révélée d'un usage très pratique, donnant la possibilité de travailler dans une pièce éclairée et supprimant le centrage optique dans le cas des corps transparents aux rayons X, centrage que l'on n'est jamais sûr de maintenir au cours des manipulations nécessitées par le changement du film photographique.

Elle permet enfin dans son état actuel de travailler avec une bonne constance de la température de l'échantillon; entre -135° C et $+200^{\circ}$ C environ. Il est en effet extrêmement simple de substituer au système de refroidissement un système de réchauffage.

(1) Je dois à M. Baudier, mécanicien au Laboratoire de Chimie-Physique une excellente exécution de l'ensemble. Qu'il en soit ici remercié.

BIBLIOGRAPHIE

- OUTTIER, L. (1951). — Thèse, Paris.
- REYFUS-ALAIN, B. et DUNOYER, J.-M. (1952). — *C. R. Acad. Sci., Fr.*,
234, 320.
- DUNOYER, J.-M. (1951). — *C. R. Acad. Sci., Fr.*, 233, 41.
- HEMANN, (1937). — Cambridge University Press.
- BBEHLDE et WOODWARD, (1946). — *Proc. roy. Soc.*, 185, 448.
-

NOUVELLE MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA DIRECTION DE L'AXE OPTIQUE DES CRISTAUX UNIAXES

PAR W. NIEUWENKAMP,
Université d'Utrecht.

Résumé. — La direction de l'axe optique d'un cristal uniaxe est déterminée par observation des positions d'extinction en lumière inclinée, la section restant horizontale sur la platine du microscope. Un diagramme en projection *aequiareale* permet de reporter immédiatement les pôles des axes.

Un des procédés des plus communs de l'analyse structurale (*Gefügekunde der Gesteine*) s'appuie sur la détermination de l'orientation d'un grand nombre — quelques centaines par échantillon — de cristaux d'une des espèces minérales de la roche. Parmi celles-ci, le quartz est le plus fréquemment employé; la détermination, qui alors ne comporte que la seule position de l'axe optique, se fait à l'aide d'une platine universelle de Fedorow qui doit, de plus, être munie d'une table mécanique pour passer d'un grain à l'autre par translation. Comme mon collaborateur R. C. Heim l'a fait remarquer il y a là une disproportion étonnante entre les moyens employés et le but envisagé. Le plan azimuthal de l'axe optique est immédiatement donné par la position d'extinction n_g' ; la seule difficulté est celle de la détermination de l'angle de l'axe avec le plan de la préparation. Une simple mesure de la biréfringence par exemple suffirait pour obtenir cet angle au signe près. Nos études et nos expériences à ce sujet ont abouti à la conception d'une méthode rapide requérant un minimum d'outillage supplémentaire.

En principe cette méthode, comme celle où l'on emploie la platine universelle, est basée sur la mesure des positions

l'extinction, mais au lieu d'incliner l'objet, c'est le faisceau lumineux qui traverse obliquement la plaque mince, celle-ci étant horizontale sur la platine du microscope.

Une des manières des plus simples pour obtenir ce faisceau incliné, est de le faire passer par un petit prisme de verre, comme celui dont la section droite est représentée sur la fig. 1,

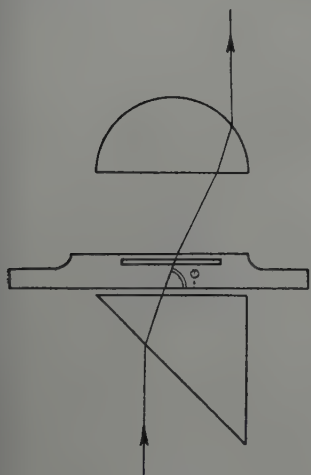


FIG. 1. — Réfracté par un prisme de verre, un faisceau lumineux traverse un grain de quartz en faisant un angle $\phi = 72^\circ$ avec le plan de la lame mince. Il est reçu ensuite par l'objectif du microscope à ouverture numérique 0,5.

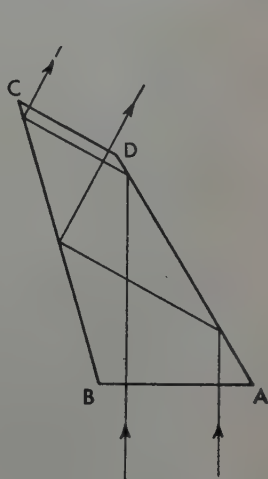


FIG. 2. — Un prisme à réflexion totale a l'avantage d'incliner le rayon lumineux sans déviation du plan de polarisation. Angles dièdres : A $59^\circ 25'$ B $106^\circ 5'$ C 45° D $149^\circ 25'$

ou mieux, un prisme à réflexion totale (fig. 2) qui a l'avantage d'empêcher le plan de polarisation de quitter sa position initiale. On peut encore se servir d'un diaphragme excentrique d'ouverture très petite placé au plan focal de la lentille condensatrice de l'appareil d'éclairage, etc.

Le prisme réfracteur ($n = 1,52$) de la fig. 1 introduit une déviation de $28^\circ 5'$ au faisceau lumineux qui peut donc être reçu par un objectif d'ouverture 0,5 ($> \sin 28^\circ 5'$) qui correspond à des grossissements convenables. Les rayons lumineux ainsi déviés, traverseront un grain de quartz en faisant un angle de 18° avec l'axe du microscope ($\sin 28^\circ 5' / \sin 18^\circ = 1.547$,

indice moyen du quartz). Presque toujours, nous plaçons le prisme de telle façon que le faisceau incliné soit situé dans le plan de polarisation de l'un des deux nicols par exemple le plan vertical passant par la ligne horizontale WE (fig. 3). Désignons par φ l'angle des rayons avec le plan de la préparation ; à l'intérieur du quartz

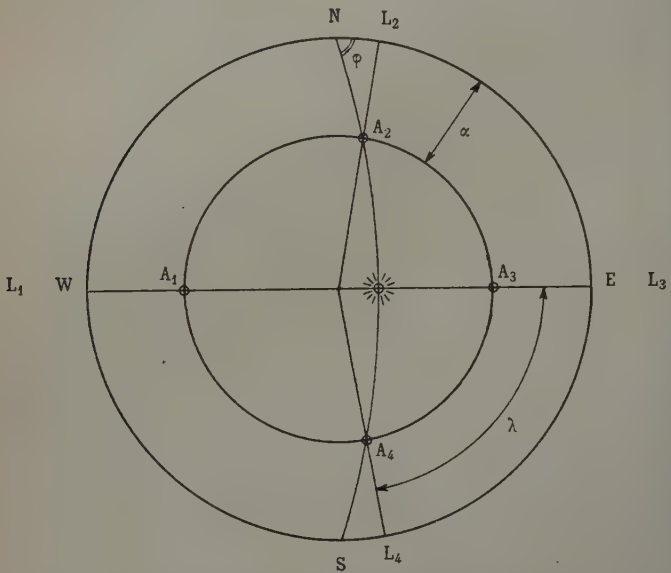


FIG. 3. — Projection d'un hémisphère montrant les 4 positions d'extinction correspondant aux 4 traces A_i de l'axe optique et aux 4 lectures L_i du tambour de la platine. Le triangle $N L_2 A_2$ met en évidence la relation :

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \lambda$$

$\varphi = 72^\circ$. L'examen en lumière convergente montrera un point lumineux situé exactement sur le diamètre WE du champ de vision (tout près de l'une de ses extrémités quand l'ouverture de l'objectif est 0,5).

En nicols croisés les grains de quartz, à peu d'exceptions près, donneront lieu à l'observation de 4 positions d'extinction distinctes (fig. 3). Les graduations correspondantes L_i , sur le tambour de la platine, doivent remplir les conditions suivantes :

$$L_3 - L_1 = 180^\circ \quad L_4 - L_3 = L_3 - L_2 = \lambda \leq 90^\circ \quad (1)$$

écart entre λ et 90° permet d'identifier les 4 positions d'extinction. D'ailleurs le plus souvent on les reconnaîtra à première vue, la teinte de polarisation variable indiquant le retard maxima à côté de L_1 . Quand l'axe optique est presque horizontal il faut avoir recours à la lame quart d'onde qui par sa direction n_g' , projection de l'axe optique, donne le diamètre $L_1 - L_3$.

Les deux lectures L_2 et L_4 (fig. 3) suffiront à faire connaître les deux paramètres de la position de l'axe optique : leur moyenne $1/2 (L_2 + L_4)$ est égale à l'azimut par rapport au point E et leur différence $L_4 - L_2 = 2\lambda$ est liée à l'angle α de l'axe optique avec le plan de la préparation par la relation :

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi \cos \lambda \quad (2)$$

Si l'on désire des données numériques on pourra évaluer α à l'aide d'une échelle double : $\log \cos \lambda$, $\log \operatorname{tg} \varphi$ ou quelque autre forme de nomogramme. Mais le procédé usuel de l'analyse structurale demande que les pôles de ces axes optiques soient portés sur un hémisphère en projection aequiareale. À l'aide du diagramme de la fig. 5 on peut immédiatement marquer les pôles sans avoir besoin de noter les lectures.

À la manière du réseau dit de Wulff, ce diagramme est employé couvert d'une feuille transparente, qui porte une marque repère permettant de lui faire suivre les rotations de la plaque mince. La marque repère faisant coïncidence avec la division Lx de la circonférence du diagramme nous dirons que la feuille transparente se trouve à la « position Lx ». Ceci fait, on trouvera la position d'un pôle d'axe par les manipulations suivantes :

- a) Lecture de l'extinction L_2 .
- b) Mettre la feuille à la position L_2 .
- c) Lecture de l'extinction L_4 .
- d) Appuyer une pointe de crayon sur la feuille transparente au-dessus de la division o , le point N, de la circonférence du diagramme.
- e) Tourner la feuille de la position L_2 à la position L_4 , en

prenant soin que la rotation soit suivie par le crayon dont pointe atteindra ainsi la division numéro ($L_4 - L_2$).

f) Suivre la ligne brisée (interpolée) indiquée par le crayon jusqu'à son intersection avec l'arc de grand cercle Q . Le point d'intersection représente le pôle d'axe cherché.

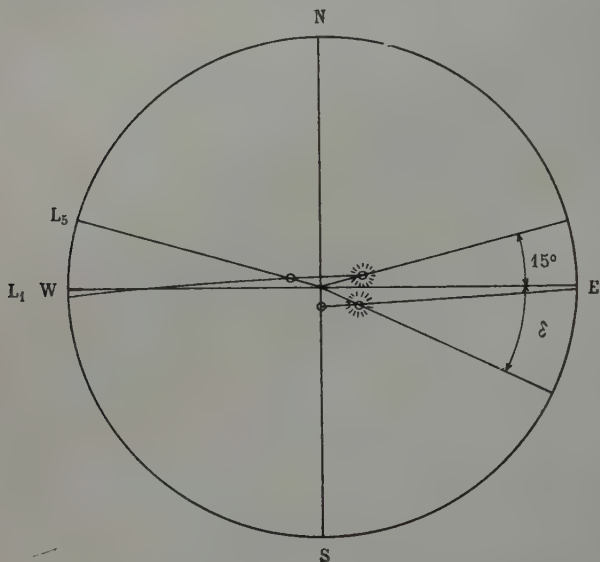


FIG. 4. — Dispositions pour la détermination des axes optiques au voisinage de la normale à la préparation.

Hémisphère nord : le prisme a été tourné de 15° autour de l'axe du microscope. L'extinction L_1 (fig. 3) est remplacée par l'extinction L_5 . L'inclinaison de l'axe, α , est déterminée en fonction de la différence $L_5 - L_1$.

Hémisphère sud : une rotation de la platine a amené l'axe optique au plan vertical NS. L'extinction est faite par rotation du prisme de l'angle δ , dont la mesure nous fournira la valeur de α .

La détermination ne se heurte à aucune difficulté tant que l'angle $\alpha \leq 65^\circ$, c'est-à-dire dans 90 % des cas. Pour les positions d'axes plus proches de la verticale, les extinctions L_2 , L_3 , L_4 se confondent; l'éclairement qui les sépare devient imperceptible à cause de la diminution de la biréfringence au voisinage de l'axe. A l'extinction L_1 l'écart entre l'axe optique et le faisceau lumineux est toujours $> 18^\circ$, et l'éclairement ne disparaît que lorsque l'axe optique est tout près de la verti-

ale ($\alpha > 83^\circ$ environ) puisque alors la section principale du quartz (au sens défini par Huygens) ne s'éloigne que très peu d'un plan de polarisation des nicols.

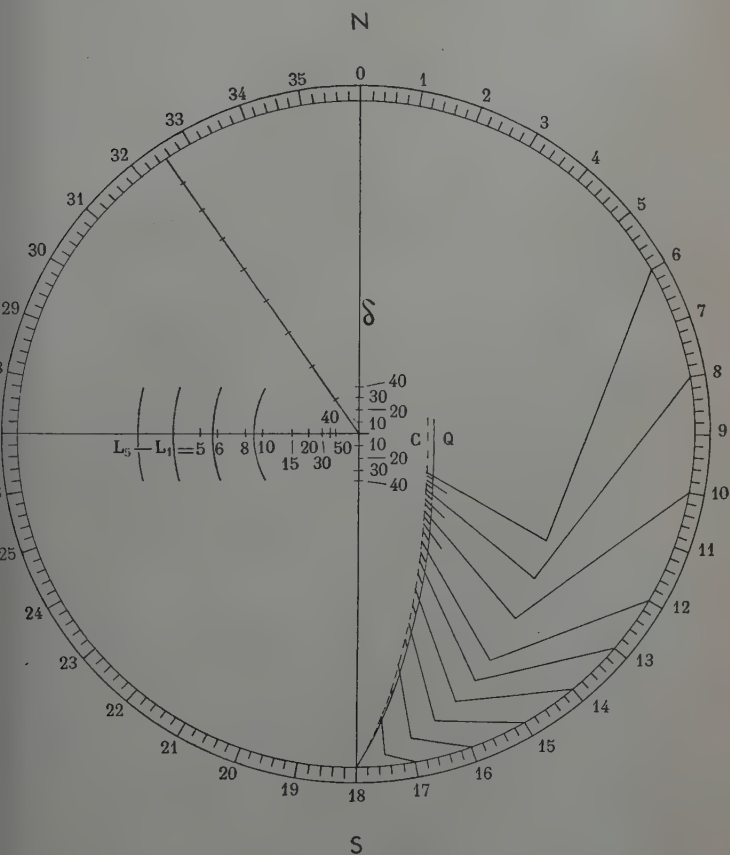


Fig. 5. — Diagramme pour porter les pôles d'axes sur l'hémisphère de la projection aequiareale à partir des lectures de positions d'extinction. La moitié droite sert dans 90 % des cas (si l'axe optique est incliné de $\leq 65^\circ$). L'arc de grand cercle Q se rapporte au quartz, C à la calcite. Le demi-diamètre W porte les pôles d'axe en fonction de $L_5 - L_1$ (fig. 4, nord) ; le diamètre NS en fonction de δ (fig. 4, sud).

La détermination de la position de ces axes à forte inclinaison est facilitée quand l'outillage du microscope prévoit la rotation simultanée des nicols. Dans le cas contraire,

une variation de la direction du faisceau lumineux donnera le même résultat. Le texte ci-dessous et la fig. 4 se rapportera au cas d'un prisme monté de manière à pouvoir subir une rotation autour de l'axe du microscope, l'angle du faisceau lumineux dans le quartz avec le plan de la préparation restant toujours égal à $\varphi = 72^\circ$.

On détermine par avance l'extinction L_1 . On tourne le prisme 15° à partir de sa position initiale. Près de la position L_1 , il y aura maintenant un nouveau minimum d'intensité, L_5 . En faisant abstraction d'une rotation, très petite d'ailleurs, du plan de polarisation, causée par les réfractions subies, on peut déduire la relation :

$$\operatorname{tg} \alpha = \sin (L_5 - L_1 + 42'). \operatorname{tg} 85^\circ 25'.$$

Pour l'évaluation numérique de α on pourra se servir de la même échelle double de la précédente. Sur le demi-diamètre W du diagramme de la fig. 5 on a marqué les positions des pôles d'axe correspondant aux valeurs inscrites de $L_5 - L_1$; en les portant sur la feuille transparente celle-ci doit être mise à la position L_1 . Ce procédé conduit au résultat si $\alpha \leq 80^\circ$ environ.

Pour $\alpha > 80^\circ$ il est encore possible de préciser sa valeur tant qu'un éclaircissement reste perceptible entre les extinctions L_1 et L_3 , que d'ailleurs on n'a pas besoin d'identifier. On cherche à établir — par rotation de la platine du microscope — une des positions d'éclairement maxima du quartz (à 90° des positions d'extinction L_1, L_3) et ensuite à le ramener à un noircissement aussi complet que possible par rotation du prisme. Soit δ l'angle de rotation du prisme à partir de sa position normale, la valeur de α est donnée par

$$\cos \alpha = \sin \delta. \sin 18^\circ.$$

Pour $\delta = 10^\circ, 20^\circ \dots$ les pôles d'axe sont marqués sur le diamètre N S du diagramme. Avant de les reporter on met la feuille transparente à la position correspondante à celle de la platine; le choix du demi-diamètre N ou S sera déterminé par le sens de rotation du prisme.

La précision de la méthode décrite suffit à toutes les exi-

ences de la « Gefügekunde der Gesteine ». Admettons ΔL comme erreur moyenne d'une détermination d'extinction, celle de la demi-différence $1/2 (L_4 - L_2) = \lambda$ sera $\Delta \lambda = 1/2 \sqrt{2}$. ΔL par différentiation de la relation (2) on obtient :

$$\Delta \alpha / \Delta L = 1/2 \sqrt{2} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \lambda$$

qui pour $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 72^\circ = 3$ nous fournit par exemple

$$\alpha = 0^\circ 45' 65''$$

$$\Delta \alpha / \Delta L = 2 \quad 1 \quad 0,3$$

une précision de 2° en α sera atteinte lorsque les positions d'extinction seront établies à 1° près, ce qui est réalisé facilement pour une inclinaison modérée de l'axe optique. Si α a une valeur plus grande, les extinctions seront moins nettes, mais en compensation le facteur $\Delta \alpha / \Delta L$ diminue rapidement ; pour $\alpha = 65^\circ$ par exemple on pourra tolérer une erreur moyenne de 6° en L_2 et L_4 . Il n'est pas difficile, en général, d'arriver à une précision beaucoup plus grande.

Les valeurs de l'azimut se prêtent à une vérification et au besoin à une correction fournie par l'extinction L_1 , qui est la plus nette. La feuille transparente ayant été mise à la position L_1 , le pôle d'axe devra être situé sur le demi-diamètre W ; si il y a un écart on pourra ramener le pôle à l'azimut corrigé en suivant les arcs de cercles concentriques tracés sur le diagramme.

Les observations en rayons obliques nous procurent encore un moyen de faire une distinction entre cristaux uniaxes (quartz) et biaxes (feldspath, cordiérite), puisqu'en général les conditions (1) d'extinctions des corps biaxes ne seront pas remplies. C'est seulement dans le cas particulier où l'une des directions de vibration principales est parallèle au plan de la lame mince, qu'il n'y a pas de différence entre ces deux types de corps biréfringents.

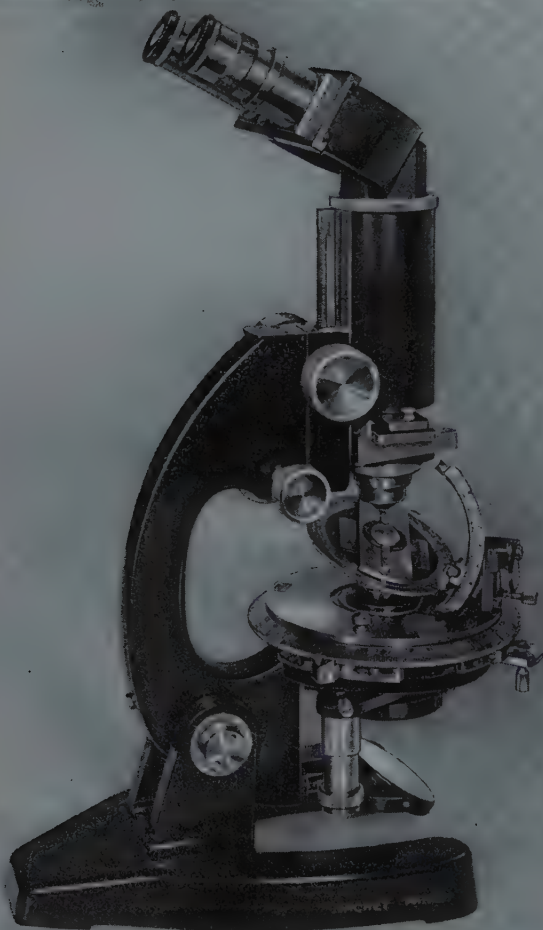
De préférence le prisme, ou un autre moyen de déviation

(1) P. LAFFITTE : Mesure précise de la biréfringence d'une section de minéral dans une lame mince. Application à la détermination rapide des feldspaths monocliniques. Ce Bulletin 74, 1951, page 495.

des rayons lumineux, sera monté de manière à permettre un passage commode à l'observation normale. Signalons à titre d'exemple d'une combinaison utile des deux modes d'observation : celle où la fixation de l'axe d'un quartz suivie d'une mesure du retard optique nous fait connaître l'épaisseur de lame mince. Cette évaluation de l'épaisseur a récemment gagné un intérêt de premier ordre en tant que constituant l'un des éléments de la détermination des feldspaths calcosédiques suivant la méthode ingénieuse et efficace décrite par M. P. Laffitte (1).

Nous tenons à remercier l'Organisation Néerlandaise de Recherches Pures, Z. W. O., pour l'aide apportée à ces investigations.

(1) Voir note 1, page 93.



UNE NOUVELLE PLATINE THÉODOLITE QUATRE AXES, POUR LE MICROSCOPE POLARISANT (RÉALISATION PRATIQUE)

PAR P. BORDET,

Laboratoire de Minéralogie de l'Institut Catholique, Paris.

Sommaire. — L'auteur décrit la platine théodolite réalisée d'après le principe que M. G. Nomarski et lui-même avaient exposé précédemment.

L'année dernière, M. G. Nomarski et moi-même avons posé ⁽¹⁾ le principe permettant de réaliser un nouveau type de platine théodolite pour le microscope polarisant ⁽²⁾, et préparé un prototype original.

La construction du modèle définitif de cet appareil, réalisée par les Établissements Nacet, s'est heurtée à diverses difficultés qui ont conduit à adopter des solutions en partie différentes de celles qui avaient été préconisées initialement. Les solutions retenues sont relativement complexes, mais elles présentent de sérieux avantages par rapport à la platine de Rodoroff de modèle classique tant au point de vue de la facilité que de la rapidité des manœuvres.

Description de l'appareil. Dispositifs essentiels.

Le principe fondamental de cet appareil est celui qui a été décrit l'année dernière. L'objet à étudier est placé entre deux demi-sphères de verre et occupe leur centre commun.

La demi-sphère inférieure repose dans une cuvette en verre ayant même courbure qu'elle par l'intermédiaire d'un film d'huile qui sert simultanément à la lubrification et à la fixation.

⁽¹⁾ Bull. soc. franç. Minér. crist., 1951, 74, 489.

⁽²⁾ Brevet C. N. R. S. BORDET et NOMARSKI, n° prov. 602, 332.

tion par effet de ventouse. Les mouvements rendus possibles par ce dispositif sont à la fois très doux et extrêmement précis, les surfaces optiques en regard étant travaillées avec une tolérance inférieure au micron.

Afin de permettre la détermination des éléments optiques et cristallographiques des minéraux étudiés, la platine porte-objet peut tourner autour de quatre axes de rotation en plus de l'axe propre à la platine du microscope. Ces axes ne sont pas matérialisés, comme dans la platine de Fédoroff classique par deux pivots mécaniques supportant la préparation : ici, n'existe qu'un seul pivot par axe, l'autre pivot étant remplacé par la demi-sphère de verre elle-même. Cette disposition permet de fixer avec précision la direction des différents axes de rotation de la platine porte-objet, mais ceux-ci n'interviennent pas pour déterminer la position de son centre de rotation dans l'espace, qui résulte uniquement de l'action de la cuvette de verre dans laquelle repose la demi-sphère inférieure.

Le dispositif de guidage est réalisé de la manière suivante.

Une pince saisit le bord de la platine porte-objet et autorise sa rotation dans son propre plan autour d'un axe (1).

Cette pince est montée sur un pivot radial qui permet une rotation suivant un axe diamétral (2).

Cet ensemble est monté sur un curseur qui se déplace sur un arc de cercle, permettant une rotation suivant un autre axe diamétral (3) perpendiculaire au précédent.

Enfin, l'arc de cercle est lui-même monté sur un pivot permettant sa rotation suivant un axe diamétral (4) perpendiculaire à l'axe (3) et qui peut être confondu ou non avec l'axe (2).

L'inclinaison de la platine porte-objet peut atteindre 45° en haut et en bas de la position horizontale.

Mesure des angles.

La mesure des angles par déplacement d'un repère sur un réticule, préconisée initialement, n'a pas été retenue par suite de l'extrême précision mécanique qu'elle requiert. On est donc revenu à la lecture des angles sur des limbes gradués.

La graduation de l'axe (1) est portée sur le limbe de la platine porte-objet. Celle de l'axe (2) est portée sur un tambour divisé en deux fois 45° de 5 en 5° , se déplaçant devant un vernier donnant le degré. Celle de l'axe (3) est portée par l'axe de cercle, la position d'horizontalité de l'axe (2) correspondant à la graduation 50° , afin de faciliter les mesures. Enfin celle de l'axe (4) est portée par un tambour divisé en deux fois 90° de 2 en 2 degrés.

La graduation des quatre axes n'est pas indispensable. Si on utilise le plan de la platine du microscope comme plan de projection sur le canevas stéréographique, après orientation préalable du minéral, il suffit que les axes (3) et (4) soient gradués. Si, par contre, on utilise le plan de la préparation comme plan de projection, il faut que les axes (1), (2), (3) soient gradués comme dans la platine de Fédoroff; pourtant, la graduation de l'axe (4) accélère beaucoup les mesures⁽¹⁾; ce mode de projection n'est indispensable que pour l'étude de la répartition des cristaux dans les roches (« structurologie ») et pour celle des macles compliquées.

Dispositifs accessoires.

Comme dans toute platine théodolite, il est indispensable que l'indice des demi-sphères soit voisin de celui du minéral étudié; les demi-sphères sont donc amovibles. Le changement peut se faire très rapidement sans déplacer la préparation, ni régler la platine.

Il est nécessaire que le minéral étudié soit situé exactement au centre de rotation de la platine porte-objet. Les déplacements de la préparation parallèlement à la platine porte-objet se font aisément à la main; les déplacements perpendiculairement à celle-ci sont assurés par deux écrous facilement accessibles, de sorte que ce réglage peut toujours être rectifié au cours de travail, s'il se révèle imparfait.

Dans beaucoup de cas, il est utile que l'axe (4) demeure

1) Cet axe (4) est analogue à l'axe supplémentaire de la platine d'Edmonds.

dans sa position fondamentale ; afin d'éviter des vérifications fastidieuses, un dispositif d'enclanchement escamotable a été prévu. Il permet en outre d'immobiliser cet axe dans quatre autres positions dont on peut avoir besoin pour les mesures indirectes de 2 V.

Enfin la platine du microscope elle-même (sur les microscopes Nacet, modèle EP) comporte un dispositif d'enclanchement escamotable et réglable, qui l'immobilise dans les positions habituelles de travail : position fondamentale et position à 45° de celle-ci.

Un objectif spécial pour les travaux en lumière convergente à grande ouverture (O. N. = 0,70) a été calculé ; des difficultés techniques en ont retardé jusqu'ici la réalisation.

Principe des mesures.

Les mesures au moyen de la platine théodolite reposent essentiellement sur la propriété suivante : lorsqu'un plan de symétrie de l'ellipsoïde des indices du minéral étudié est situé dans l'un des plans de symétrie optique du microscope et que l'on fait tourner le minéral autour d'un axe perpendiculaire à ce plan de symétrie, le minéral est et reste toujours éteint.

Un procédé classique permet d'amener le minéral dans cette position en utilisant des rotations successives autour des axes (1), (2) et (3) ; l'axe (3) est alors perpendiculaire à un des plans de symétrie de l'ellipsoïde.

Lorsque ce résultat est obtenu, on tourne l'axe (4) : le minéral s'éclaire ; en tournant autour de l'axe (3), on éteint le minéral ; il est facile de démontrer que l'axe (4) est alors perpendiculaire à un deuxième plan de symétrie de l'ellipsoïde.

L'axe (4) étant ramené en position fondamentale, le minéral se trouve orienté de la manière suivante : un plan de symétrie de son ellipsoïde d'indice est parallèle à la platine du microscope ; un deuxième plan est parallèle au plan de symétrie du microscope ; le troisième est perpendiculaire aux précédents. De ce fait, un des axes géométriques de l'ellipsoïde

est confondu avec l'axe de rotation de la platine du microscope, un deuxième est parallèle au réticule N.-S., le troisième, au réticule E.-W.

Le problème qui se pose alors est d'identifier Ng, Nm, Np. Pour ce faire, il suffit de déterminer dans lequel des trois plans de symétrie se trouvent les axes optiques (dans le cas d'un minéral uniaxe, l'axe optique est confondu avec l'une des trois directions indiquées).

Suivant la méthode classique, on tourne la platine du microscope de 45° ; on recherche alors les axes, d'abord dans le plan perpendiculaire à l'axe (4) en tournant autour de celui-ci; s'ils ne s'y trouvent pas, on les recherche dans le plan perpendiculaire à l'axe (3); dans ces deux cas, on peut éventuellement lire sur la graduation correspondante, l'angle V compris entre l'axe optique et l'axe géométrique de l'ellipsoïde que l'on identifie au moyen d'une lame auxiliaire.

Si les axes optiques ne sont situés ni dans l'un ni dans l'autre des deux plans de symétrie étudiés, c'est qu'ils sont dans le plan parallèle à la platine du microscope, et que Nm est confondu avec l'axe de rotation de celle-ci.

On détermine alors indirectement $2V$ en faisant tourner le minéral de valeurs connues autour des axes (3) et (4) et en mesurant son angle d'extinction; une courbe simple donne $2V$ en fonction de cet angle.

On peut ensuite reporter sur le canevas stéréographique du minéral ses particularités cristallographiques : clivages, plans de macles, axes cristallographiques, etc...

Au moyen d'un compensateur, on peut mesurer avec précision la biréfringence du minéral suivant une direction privilégiée.

Bref, on possède finalement sur le minéral étudié une série de données qui permettent de le déterminer par élimination sur des tables de constantes optiques et cristallographiques.

Beaucoup d'autres problèmes peuvent être encore résolus au moyen de la platine théodolite : détermination des feldpaths, estimation des indices, etc...

Avantages particuliers de la nouvelle platine.

— Elle peut se fixer par deux vis sur la plupart des microscopes existants, à condition que la hauteur disponible sous la potence soit d'au moins 58 mm. (hauteur habituelle des statifs biologiques) et que le tube puisse être remonté de 30 mm au-dessus de sa position habituelle de travail.

— Elle présente une grande facilité de manœuvre, la platine porte-objet étant directement accessible sur 330° de sa périphérie.

— Son utilisation est aisée. La préparation peut être mise en place alors que la platine n'est pas montée sur le microscope.

— On peut échanger les demi-sphères sans déplacer la préparation. Le réglage en hauteur de celle-ci peut être instantanément corrigé en cours de travail.

— Les index correspondant aux quatre graduations sont rassemblés du même côté et peuvent être lus d'un seul coup d'œil.

— Elle est facile à entretenir et à réparer, les parties principales sont instantanément démontables et interchangeables d'un appareil à l'autre.

— Sa précision est remarquable : le croisement des 4 axes au centre de la sphère est assuré avec une précision de l'ordre du micron sans aucune possibilité de dérèglement. La rigidité de l'ensemble est absolue, aucune flexion n'est à craindre.

— Elle permet des mesures extrêmement rapides : sur une section convenablement présentée d'un minéral biaxe, l'angle des axes peut être mesuré par lecture directe en moins de deux minutes. Ce résultat est obtenu grâce au quatrième axe dont l'équivalent ne se trouve pas sur les platines théodolites classiques à quatre axes.

— La simplicité de son mécanisme rend sa manipulation aisément compréhensible : elle se trouve ainsi désignée comme appareil de démonstration et d'enseignement.

— La préparation y est éclairée par un faisceau de lumière

dans les conditions prévues par la théorie du microscope grâce à un condenseur qui fait partie de l'appareil, ceci, aussi bien en lumière parallèle qu'en lumière convergente à grand angle l'ouverture.

— Elle peut fonctionner sans être démontée pendant plusieurs semaines grâce à l'utilisation d'huile appropriée. Si la demi-sphère inférieure se décolle au cours des manipulations, il suffit de quelques secondes pour la remettre en position sans provoquer aucun dérèglement.

Conçue et réalisée en vue de permettre aux utilisateurs du microscope polarisant, minéralogistes ou pétrographes, un travail facile, rapide et précis, cette nouvelle platine théodolite comble une lacune dans la construction microscopique française⁽¹⁾.

(1) Cette note était déjà à l'impression lorsque j'ai eu connaissance d'un intéressant article de V. V. ARCHINOV exposant les perfectionnements apportés en U. R. S. S. à la platine théodolite (V. V. ARCHINOV, 1952. Sur la combinaison de la méthode de Fédoroff avec la méthode conoscopique pour l'étude des cristaux au moyen du microscope polarisant. *Bull. Soc. Minéral. U. R. S. S.* 2^e série, 1952, fasc. 4, p. 296, en russe).

L'auteur y signale une série de solutions apportées aux problèmes qu'elle pose, puis conteste vivement la nouveauté du dispositif décrit ci-dessus.

Il est certain que le principe fondamental de la platine théodolite et son utilisation en lumière convergente sont connus depuis longtemps et d'un usage courant dans les laboratoires de cristallographie et de pétrographie. Pourtant, il ne semble pas que le dispositif nouveau préconisé ici, à savoir l'utilisation d'une cuvette de verre simultanément comme pièce optique transmettant la lumière et comme pièce mécanique sur laquelle tourne la platine, n'ait été ni décrit ni réalisé jusqu'ici. Dans les appareils construits en U. R. S. S., une demi-sphère de verre de grande taille repose dans un anneau métallique sur lequel elle est maintenue uniquement par son poids (N. FEDOROVSKY, *Cong. int. Mines, Métallurgie, Géol. app.*, XII^e session, Paris, 1935, p. 983). Au contraire, la demi-sphère inférieure de la platine théodolite qui vient d'être décrite est fixée par effet de ventouse dans sa cuvette de verre grâce à un film d'huile ; ces deux solutions sont tout à fait différentes, et seule la seconde assure aux mouvements la régularité et la précision indispensable aux mesures. L'utilisation en lumière convergente est une conséquence du dispositif utilisé : elle n'en constitue ni le but essentiel ni la raison d'être.

De ce fait, il ne semble pas que l'originalité et la nouveauté du dispositif puissent être mises en cause, étant entendu qu'il s'agit d'un perfectionnement apporté à un appareil classique dont le principe fondamental et le mode d'utilisation ne s'en trouvent pas modifiés.

Cette nouvelle platine a été conçue et réalisée afin de permettre à un nombre accru de chercheurs d'utiliser les méthodes mises au point par Fédoroff et ses successeurs, et qui, de l'avis unanime, sont indispensables pour tous les travaux détaillés de cristallographie et de pétrographie.

REMARQUES SUR LA TRANSFORMATION POLYMORPHIQUE DE L'ANHYDRIDE TUNGSTIQUE VERS 900° C

PAR M. FOEX

Laboratoire des Hautes Températures
de l'École Nationale Supérieure de Chimie, Paris,

ET J. WYART,

Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

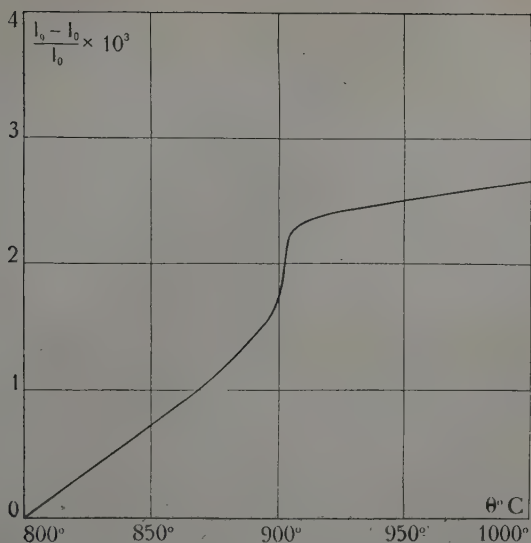
Sommaire. — L'oxyde WO_3 subit, à 900°, une transformation qui apparaît à l'analyse thermique et à la dilatométrie, alors que les diagrammes de rayons X demeurent sensiblement inchangés, car le réseau conserve la même symétrie avec une variation de paramètres imperceptible sur les clichés pris à haute température. On compare cette transformation à celle α - β du quartz.

L'anhydride tungstique manifeste, quand on le chauffe, plusieurs transformations polymorphiques (M. Foex, 1945 ; J. Wyart et M. Foex, 1951), à 350°, à 735° et à 900° C, que révèlent la dilatométrie, l'analyse thermique et, pour les deux premières, les diagrammes de rayons X.

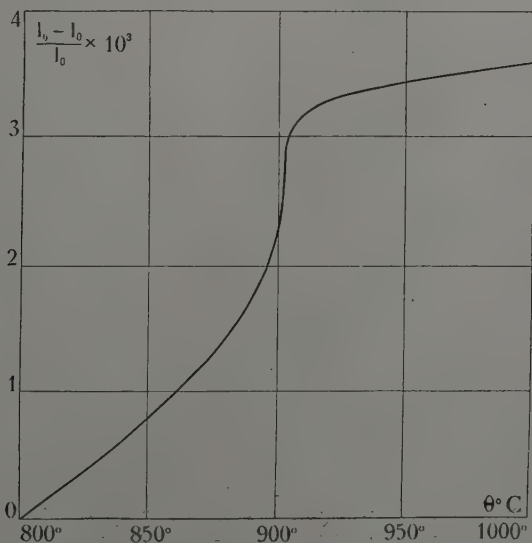
La transformation à 900°, sensiblement réversible, marquée par un effet thermique notable et une anomalie dilatométrique, ne se marque pas sur les diagrammes de Debye-Scherrer que nous avons obtenus ; le réseau au-dessus de 900°, conserve la symétrie quadratique qui apparaît à partir de 735° avec les périodes $a = 7,44 \text{ \AA}$, $c = 3,88 \text{ \AA}$.

En reprenant l'étude de la transformation au voisinage de 900°, nous avons été conduits à comparer cette transformation avec celle α - β du quartz.

L'étude dilatométrique à l'aide d'échantillons d'anhydride tungstique frittés à des températures comprises entre 1.000° C et 1.200° n'avait pas permis d'étudier en détail la nature



G. 1. — Évolution de la dilatation d'un échantillon d'anhydride tungstique préalablement fondu (taillé parallèlement à la paroi du creuset) entre 800° C et 1.000° C.



G. 2. — Évolution de la dilatation linéaire d'un échantillon d'anhydride tungstique préalablement fondu (taillé normalement à la paroi du creuset) entre 800° C et 1.000° C.

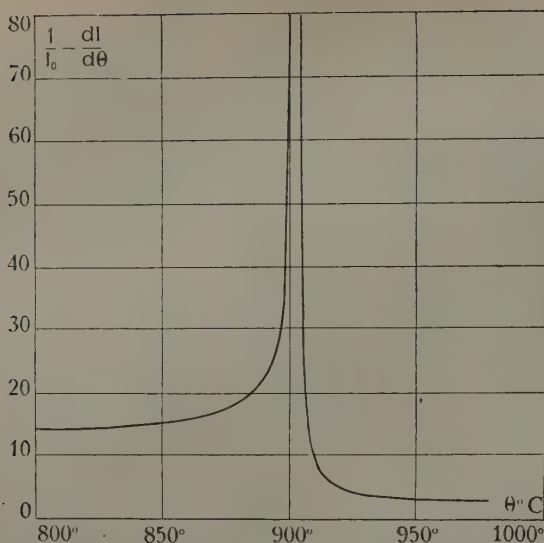


FIG. 1 bis. — Évolution du coefficient de dilatation d'un échantillon d'anhydride tungstique préalablement fondu (taillé parallèlement à la paroi du creuset) entre 800° C et 1.000° C.

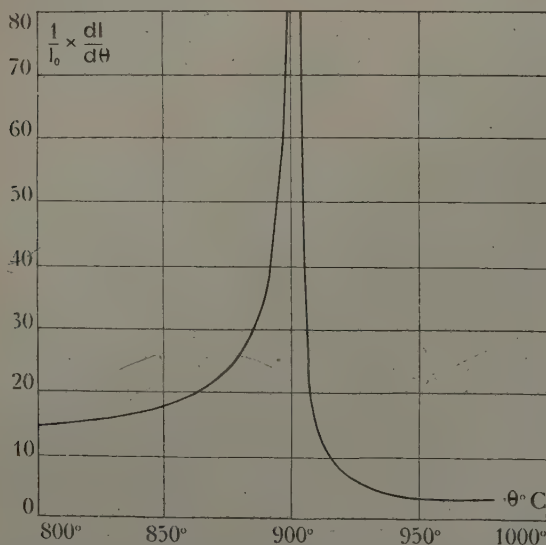


FIG. 2 bis. — Évolution du coefficient de dilatation linéaire d'un échantillon d'anhydride tungstique préalablement fondu (taillé normalement à la paroi du creuset) entre 800° C et 1.000° C.

À la transformation de 900° C, les échantillons se déformant sensiblement sous l'action du ressort de rappel du dilatomètre. Nous avons donc eu recours à des échantillons d'anhydride tungstique préalablement fondus, (point de fusion voisin de 1.500° C) dans un creuset de silice, très rapidement afin d'éviter une attaque du creuset. Au cours du refroidissement, la masse se solidifie en gros cristaux à clivages

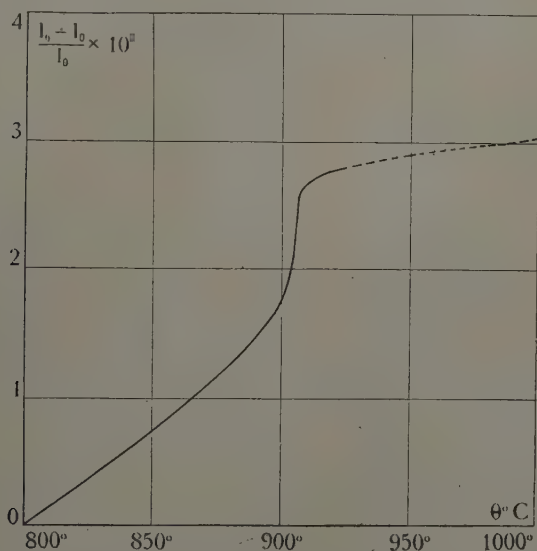


Fig. 3. — Évolution du coefficient de dilatation linéaire d'un échantillon d'anhydride tungstique préalablement, fritté à 1.100° C, entre 800° C et 1.000° C.

faciles, plus ou moins orientés par le gradient de température normalement à la paroi ; on a découpé des éprouvettes les unes normalement, les autres parallèlement à la direction de la paroi. Les courbes dilatométriques obtenues dans les deux cas sont comparées à celles enregistrées à l'aide d'un dilatomètre Chevard à haute sensibilité, coefficients d'amplification 270 et 500) ont été représentées par les figures 1 et 2 ; les courbes correspondant aux coefficients de dilatation par les figures 1 bis et 2 bis.

La figure 3 est relative à un échantillon fritté à 1.100° C.

Les courbes obtenues au cours du chauffage et du refroidissement se superposent, révélant ainsi la réversibilité du phénomène dans la limite d'erreur des expériences, de l'ordre de 1° : la transformation s'amorce bien avant 900° et les coefficients linéaires de dilatation que l'on mesure à l'instant de transformation dépassent $500 \cdot 10^{-6}$: la transformation est quasiment isotherme, comme celle du quartz à 573° .

L'étude effectuée à partir des éprouvettes taillées dans le produit préalablement fondu met en évidence une anisotropie considérable du phénomène. Il est essentiel de ne pas procéder

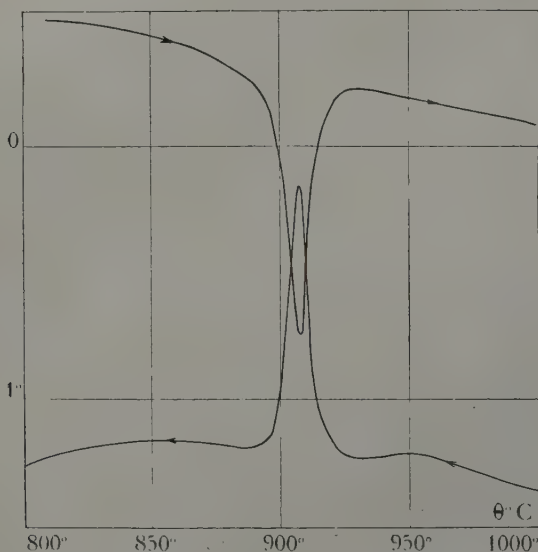


FIG. 4. — Analyse thermique différentielle d'un échantillon d'anhydride tungstique, préalablement traité à 1.000°C (chauffage et refroidissement).

der à un refroidissement lent des échantillons, particulièrement au voisinage de la transformation de 735°C , afin d'éviter une recristallisation du produit, atténuant fortement l'orientation privilégiée observée ci-dessus. L'anisotropie réelle est évidemment supérieure à celle observée par la méthode ci-dessus, car il subsiste, dans l'échantillon, une certaine désorientation cristalline.

Les produits préalablement fondus paraissent présenter une faible dissociation abaissant très légèrement la température de transformation, car les températures observées avec les produits frittés à 1.000°C ou 1.100°C sont un peu plus élevées.

Les courbes d'analyse thermique de la figure 4, relatives à un produit traité à une température maximum de 1000°C , mettent en évidence un effet endothermique lors du passage de la transformation à température ascendante et un phénomène inverse à température descendante.

Analogies avec la transformation α - β du quartz.

La transformation précédente présente des analogies frappantes avec la transformation α - β du quartz (573°C) ; en particulier, les courbes dilatométriques présentent les mêmes caractères (Chevenard et Portevin, 1943). On note ainsi les différents points suivants :

1^o Le coefficient de dilatation augmente depuis les basses températures d'une façon de plus en plus rapide et passe par un maximum très élevé pour une température déterminée.

2^o Au-dessus de la température de transformation la valeur du coefficient de dilatation devient progressivement très faible. Cette valeur, sensiblement plus élevée dans le cas de l'anhydride tungstique (environ 3.10^{-6}) que dans celui du quartz, est beaucoup plus faible que celle observée aux températures inférieures à la température de transformation.

3^o La transformation est très sensiblement réversible ; l'hystérésis, si elle existe, est très faible.

4^o L'intensité de la transformation, dans les courbes dilatométriques, dépend dans une large mesure de l'orientation cristalline, comme pour le quartz où la transformation est dix fois plus intense suivant la direction perpendiculaire à l'axe ternaire que suivant cet axe.

5^o L'étude des courbes d'analyse thermique différentielle fournit une mesure très approximative de l'absorption de chaleur au moment de la transformation à 900° ; elle est de

l'ordre de 0,1 cal/gr, soit 23 cal/mol; notablement plus petite que l'absorption de chaleur que manifeste le quartz à 573° pour passer de la forme α à la forme β , qui est de l'ordre de 60 cal/mol. Dans l'oxyde WO_3 la structure atomique révèle que les atomes W sont entourés par 6 oxygènes formant un octaèdre, chacun des oxygènes étant commun à 2 octaèdres; alors que dans le quartz, les atomes Si occupent le centre des tétraèdres d'oxygène, chacun de ceux-ci appartenant à 4 tétraèdres.

Rapportée à la même liaison électrostatique au sens de Pauling W-O ou Si-O la transformation de l'oxyde WO_3 absorbe une énergie $23/6 = 4$ cal. nettement plus petite que celle du quartz $60/4 = 15$ cal.

Du point de vue thermique, comme d'ailleurs du point de vue dilatométrique, la transformation de l'oxyde WO_3 apparaît comme un réarrangement moins important que celui qui intervient dans le quartz à 573°.

Dans les deux cas, les réseaux cristallins, de part et d'autre de la transformation, demeurent les mêmes. De sorte que l'on retrouve les mêmes familles de plans réticulaires, avec très sensiblement les mêmes paramètres, puisque la transformation modifie peu les dimensions de la maille cristalline. Aussi les diagrammes Debye-Scherrer sont-ils extrêmement voisins de part et d'autre de la transformation.

Alors qu'un procédé d'enregistrement continu, comme l'analyse thermique différentielle ou la dilatométrie, révèle, sans coup sûr, la transformation, les diagrammes de rayons X qui fournissent les paramètres cristallins à des températures croissant d'une manière discontinue, demeurent très analogues et les réseaux demeurent les mêmes.

Pour le quartz, de part et d'autre de la transformation à 573°, le réseau est hexagonal alors que la symétrie du cristal augmente; de trinaire, elle devient tétraédrique au-dessus de 573°. Cependant; il est bien connu que l'arrangement plus symétrique des atomes est à peine modifié. Les dimensions de la maille varient plus notablement que pour l'oxyde WO_3 . Dans celui-ci les variations des paramètres sont de l'ordre de 0,1

%, alors que, entre 520° et 580° , les paramètres a et c du quartz augmentent de 0,35 % et de 0,7 %.

Nous n'avons pu préciser l'existence d'une hémiedrie pour l'oxyde WO_3 , au-dessous de 900° , comme il existe une tétrahédrie pour le quartz au-dessous de 573° .

La recherche d'une piézo-électricité qui aurait prouvé l'absence d'un centre de symétrie n'a pas abouti; le corps étant un conducteur.

Il est cependant possible que, comme dans le quartz, l'arrangement des octaèdres WO_6 , quand la température dépasse 900° , devienne plus symétrique avec le même réseau quadratique, par un déplacement très faible des atomes.

BIBLIOGRAPHIE

DEVENARD, P. et PORTEVIN, A. (1943). — *Bull. soc. franç. minér.*, 70, 131.

FOËX, M. (1945). — *C. R. Acad. Sci., Fr.*, 220, 917.

DEVENARD, J. et FOËX, M. (1951). — *C. R. Acad. Sci., Paris*, 232, 2459.

SUR LES SYSTÈMES DE POINTS PARTIELLEMENT ORDONNÉS

PAR JULES GARRIDO,

Mission d'Assistance Technique de l'UNESCO, Mexique.

Sommaire. — En partant d'un arrangement réticulaire de points par dégradation des régularités des dispositions de ces points, on étudie les systèmes de points partiellement ordonnés.

L'étude est faite pour les ensembles, simplement, doublement, triplement infinis dans les espaces d'une, deux et trois dimensions.

Quand on considère les régularités de disposition possibles le long des trois directions fondamentales du système, on trouve 102 types différents d'ordre partiel, pour les systèmes triplement infinis et 8 types différents pour les systèmes doublement infinis dans l'espace à deux dimensions.

La structure cristalline est caractérisée par un groupe de translations de la forme : $pa + qb + rc$ ⁽¹⁾ qui définit un ensemble de points ordonnés dans l'espace (réseau). La structure réticulaire, ainsi définie, correspond au type idéal de la structure cristalline. En général, les cristaux ne correspondent qu'imparfaitement à ce schéma géométrique; des déplacements relatifs des plans réticulaires, des substitutions ou des interpositions d'atomes étrangers et l'agitation thermique peuvent détruire, plus ou moins complètement, la régularité du réseau. Il est intéressant d'étudier et de classer les systèmes partiellement ordonnés qui résultent de la dégradation des régularités imposées par la structure réticulaire.

L'étude de la structure réticulaire peut être faite par la considération des systèmes de points ordonnés dans l'espace (Bravais, A., 1848); de même, nous pouvons envisager le problème des structures qui s'éloignent plus ou moins de

(1) Lire dans tout le texte \vec{a} pour a , \vec{b} pour b , etc...

méa géométrique, par l'analyse des systèmes de points, partiellement ordonnés. Nous développons ici *in extenso* certains résultats que nous avons publiés ailleurs (1951) sur cette question.

Partons d'une structure réticulaire et déplaçons chaque nœud pqr par une opération définie par un vecteur

$$v_{pqr} = \varepsilon \mathbf{a} + \eta \mathbf{b} + \zeta \mathbf{c}; \quad \varepsilon, \eta \text{ et } \zeta$$

sont des nombres variables, en général, pour chaque nœud, la position de chaque nœud sera exprimée par un vecteur :

$$(p + \varepsilon) \mathbf{a} + (q + \eta) \mathbf{b} + (r + \zeta) \mathbf{c}.$$

Si les nombres ε , η et ζ sont quelconques, on obtiendra un ensemble désordonné de points, mais si nous imposons à ces trois nombres certaines conditions de régularité, dépendant des coordonnées des nœuds, nous obtiendrons des systèmes de points *partiellement ordonnés*.

Nous allons nous occuper ici des systèmes de points déduits de la dégradation des régularités de la structure réticulaire, en considérant des valeurs de ε , η et $\zeta < 1$ et pour le cas où il existe les mêmes régularités de ces valeurs dans toute l'étendue du système. Nous allons procéder des cas les plus simples aux cas les plus compliqués.

Systèmes simplement infinis.

Le système de points, simplement infini le plus régulier, est une rangée où chaque point est équidistant de ses deux voisins. Une telle rangée peut être exprimée par la formule $p\mathbf{a}$, où $|\mathbf{a}|$ est la période de translation. Si nous déplaçons chacun des points d'une rangée le long d'une droite parallèle à la droite du système, ainsi obtenu, sera formé par des points placés sur une même droite mais non équidistants. Ce système de points peut être exprimé par la formule $(p + \varepsilon_p) \mathbf{a}$ où ε_p indique que le déplacement est fonction de p , c'est-à-dire

variable pour chacun des points de la rangée, $|a|$ sera l'équidistance moyenne des points du système (fig. 1, II).

Si les déplacements des nœuds de la rangée se font tous dans des plans parallèles à un plan défini par le vecteur a et un autre vecteur déterminé b , nous aurons la formule :

$$(p + \varepsilon) a + \tau b.$$

Si $\varepsilon = 0$ pour tous les points du système et τ différent pour chaque valeur de p , on obtient l'expression $p a + \tau_p b$ qui

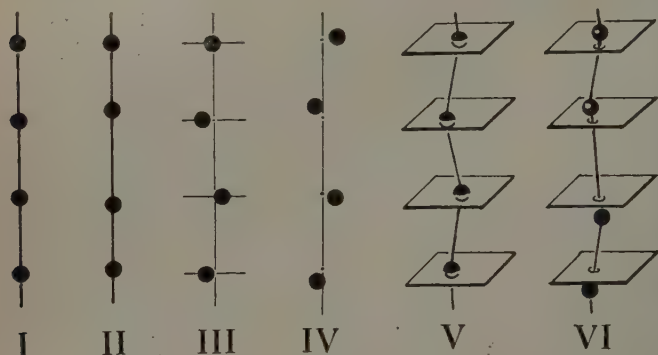


FIG. 1. — Ordre et désordre dans les systèmes de points simplement infinis. I. correspond à l'ordre complet (rangée). IV. au désordre complet.

donne un nouveau type de système de points partiellement ordonnés (fig. 1, III). Quand ε et τ sont fonction de p nous aurons $(p + \varepsilon_p) a + \tau_p b$ qui représente un ensemble de points placés d'une façon désordonnée dans l'espace à deux dimensions (fig. 1, IV).

Pour les ensembles de points, simplement infinis dans l'espace à trois dimensions; il y a lieu de considérer des formules de la forme :

$$(p + \varepsilon) a + \tau b + \zeta c;$$

si $\varepsilon = 0$, et si τ et ε sont des fonctions de p nous aurons :

$$p a + \tau_p b + \zeta_p c$$

il correspond à un ensemble de points placés sur des plans équidistants et parallèles à **b** et **c** (fig. 1, V).

Si ε , η et ζ sont tous les trois fonction de p , on obtient le type le plus désordonné dans l'espace à trois dimensions (fig. 1, VI) qui est donné par la formule :

$$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + \eta_p \mathbf{b} + \zeta_p \mathbf{c}.$$

On a donc six types différents de rangées que nous représenterons par un chiffre romain de I à VI (fig. 1).

Systèmes doublement infinis dans l'espace à deux dimensions.

Les différentes possibilités de systèmes de points partiellement ordonnés dans l'espace à deux dimensions, tels que toutes les rangées parallèles entre elles soient du même type en tenant compte seulement des régularités le long de deux directions que nous pouvons choisir comme axes a et b , peuvent être déduites en considérant les régularités des valeurs des déplacements ε et η à l'aide de la nomenclature suivante :

DÉPLACEMENT	PARALLÈLE A	
	a	b
Nul	$\varepsilon = 0$	$\eta = 0$
Le même pour tous les points avec la même coordonnée $\left\{ \begin{array}{l} p \\ q \end{array} \right.$	ε_p ε_q	η_p η_q
Quelconque pour tous les points	ε_{pq}	η_{pq}

Avec ces différentes régularités on obtient les 16 expressions suivantes :

$pa + q b$	$(p + \varepsilon_q) a + q b$
$pa + (q + \tau_p) b$	$(p + \varepsilon_q) a + (q + \tau_p) b$
$pa + (q + \tau_q) b$	$(p + \varepsilon_q) a + (q + \tau_q) b$
$pa + (q + \tau_{pq}) b$	$(p + \varepsilon_q) a + (q + \tau_{pq}) b$
$(p + \varepsilon_p) a + q b$	$(p + \varepsilon_{pq}) a + q b$
$(p + \varepsilon_p) a + (q + \tau_p) b$	$(p + \varepsilon_{pq}) a + (q + \tau_p) b$
$(p + \varepsilon_p) a + (q + \tau_q) b$	$(p + \varepsilon_{pq}) a + (q + \tau_q) b$
$(p + \varepsilon_p) a + (q + \tau_{pq}) b$	$(p + \varepsilon_{pq}) a + (q + \tau_{pq}) b$

Certaines de ces expressions, quoique différentes, correspondent au même type de désordre avec un changement d'axes. Par exemple, l'expression $pa + (q + \tau_p) b$ est équivalente à la $(p + \varepsilon_q) a + q b$.

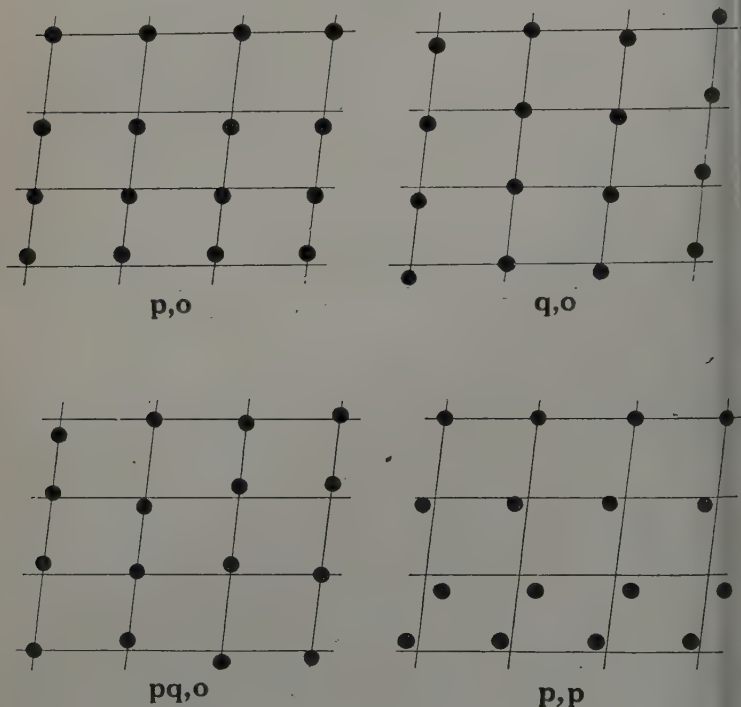


FIG. 2. — Quatre types d'ordre partiel des systèmes de points doublement infinis. (Voir tableau I.)

Sur le tableau I, nous avons écrit les dix types différents et leurs caractéristiques principales. Sur les figures 2 et 3 nous avons représenté les différents types de systèmes parallèlement ordonnés.

Comme symbole des différents types désordre, nous proposons d'écrire les sous-indices de ϵ et η en plaçant le zéro

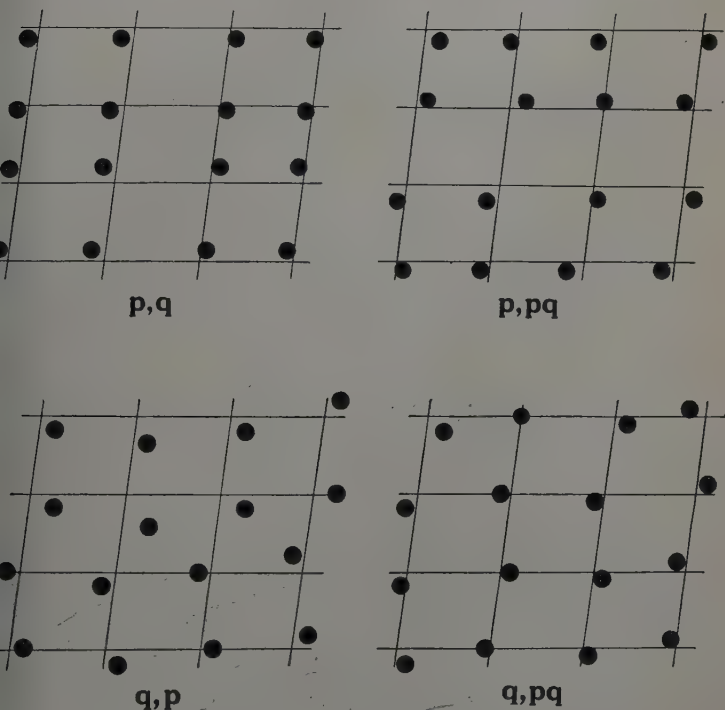


FIG. 3. — Types d'ordre partiel. (Voir tableau I.)

and le déplacement est nul. Le premier indice correspond à l'indice de ϵ et le second à celui de η . Par exemple, le type désordre qui correspond à la formule $p a + (q + n_{pq}) b$ sera noté $\{o, pq\}$. L'ordre complet aura comme symbole $\{o\}$ et le désordre complet $\{pq, pq\}$.

Tous ces différents types de désordre peuvent être déduits d'une diminution des régularités du type $\{o, o\}$ qui est le

plus régulier. Un type quelconque, par exemple $\{q, o\}$, peut donner par diminution des régularités, les types $\{pq, o\}$, $\{q, q\}$, $\{vq, q\}$, $\{q, p\}$, $\{q, pq\}$ et $\{pq, pq\}$ qui sont les *sous-types* du $\{q, o\}$ mais ne peut pas produire le $\{p, o\}$ ni le $\{p, q\}$ qui possèdent certaines régularités que $\{q, o\}$ ne possède pas. Sur la figure 4 nous indiquons les sous-types des différents types de désordre partiel.

Les systèmes doublement infinis dans l'espace à trois dimensions.

La déduction des différents types de désordre peut être faite, dans ce cas, très facilement sur la base des types que nous venons d'étudier, il suffit de considérer les déplacements le long d'une troisième direction c non contenue dans le plan $a\ b$. La formule générale de ces types sera :

$$p + \varepsilon) \ a + (q + \eta) \ b + \zeta \ c.$$

ζ peut être égal à zéro et on retombe sur les 10 groupes antérieurs, il peut aussi être fonction de p de q ou de p et q simultanément. Pour obtenir les différents types, il faudra donc combiner les 10 types du tableau I avec ζ_p , ζ_q et ζ_{pq} , en tenant compte des types équivalents qui diffèrent seulement par un changement des axes de coordonnées; on obtient les 36 types du tableau II. La notation de ces types repose sur le même principe que celui qui est donné sur le tableau I; cependant, pour faire voir qu'il y a deux directions infinies et une finie, on peut souligner les deux premiers termes de l'expression.

Les systèmes triplement infinis.

La déduction des types de désordre des systèmes triplement infinis, en tenant compte des régularités possibles le long de trois directions que nous choisirons comme axes a , b et c , peut être menée à bien au moyen de la même méthode qui a été utilisée pour les types plus simples. Il suffit de considérer l'expression : $(p + \varepsilon) \ a + (q + \eta) \ b + (r + \zeta) \ c$ et sub-

tituer ε , η et ζ par les expressions suivantes qui indiquent la dépendance de ε , η et ζ avec les coordonnées des nœuds :

ε_p	ε_q	ε_r	ε_{pq}	ε_{qr}	ε_{pr}	ε_{pqr}
η_p	η_q	η_r	η_{pq}	η_{qr}	η_{pr}	η_{pqr}
ζ_p	ζ_q	ζ_r	ζ_{pq}	ζ_{qr}	ζ_{pr}	ζ_{pqr}

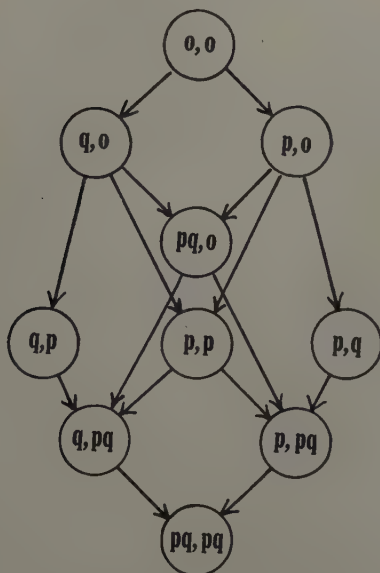


FIG. 4. — Dédution des divers types d'ordre partiel par dégradation des régularités d'un réseau (ordre complet = 0,0).

En tenant compte des types qui diffèrent seulement par un changement d'axes, on obtient 104 types différents, dont la description sommaire et la notation sont données sur le tableau III.

TABEAU I

Les types de désordre partiel
des systèmes de points doublement infinis
dans l'espace à deux dimensions.

La colonne 4 indique le type de désordre dans la direction de \mathbf{a} d'accord avec la nomenclature de la figure 1. La colonne 5 le type de désordre dans la direction \mathbf{b} et la colonne 6 pour une direction inclinée sur \mathbf{a} et \mathbf{b} . La colonne 7 le symbole du même type avec les axes d'une façon différente.

Le type 1 correspond à l'ordre complet (réseau), le type 10 au désordre complet.

N°	FORMULE	SYMBOLE	TYPE DES DIRECTIONS			AUTRE ORIENTATION
			[10]	[01]	[xy]	
1	$p\mathbf{a} + q\mathbf{b}$	o, o	I	I	I	«
2	$(p + \varepsilon_p)\mathbf{a} + q\mathbf{b}$	p, o	II	I	III	o, q
3	$(p + \varepsilon_q)\mathbf{a} + q\mathbf{b}$	q, o	I	III	III	o, p
4	$(p + \varepsilon_{pq})\mathbf{a} + q\mathbf{b}$	pq, o	II	III	III	o, pq
5	$(p + \varepsilon_p)\mathbf{a} + (q + \eta_p)\mathbf{b}$	p, p	IV	I	IV	q, q
6	$(p + \varepsilon_p)\mathbf{a} + (q + \eta_q)\mathbf{b}$	p, q	II	II	IV	«
7	$(p + \varepsilon_p)\mathbf{a} + (q + \eta_{pq})\mathbf{b}$	p, pq	IV	II	IV	pq, q
8	$(p + \varepsilon_q)\mathbf{a} + (q + \eta_p)\mathbf{b}$	q, p	III	III	IV	«
9	$(p + \varepsilon_q)\mathbf{a} + (q + \eta_{pq})\mathbf{b}$	q, pq	III	IV	IV	pq, p
10	$(p + \varepsilon_{pq})\mathbf{a} + (q + \eta_{pq})\mathbf{b}$	pq, pq	IV	IV	IV	«

TABLEAU II

Les types de désordre des systèmes de points doublement infinis dans l'espace à trois dimensions.

Ils sont ordonnés d'après le type de désordre de leur projection sur le plan **a, b**.

N ^{os}	FORMULE	SYMBOLE	PROJECTION SUR LE PLAN a, b TYPE N ^o :	TYPE DES DIRECTIONS		
				10	01	xy
1	$pa + qb$	$\underline{o}, \underline{o}, o$	1	I	I	I
11	$pa + qb + \zeta_p c$	$\underline{o}, \underline{o}, p$	1	III	I	III
12	$pa + qb + \zeta_{pq} c$	$\underline{o}, \underline{o}, pq$	1	III	III	III
2	$(p + \epsilon_p) a + qb$	$\underline{p}, \underline{o}, o$	2	II	I	III
13	$(p + \epsilon_p) a + qb + \zeta_p c$	$\underline{p}, \underline{o}, p$	2	IV	I	V
14	$(p + \epsilon_p) a + qb + \zeta_q c$	$\underline{p}, \underline{o}, q$	2	II	III	V
15	$(p + \epsilon_p) a + qb + \zeta_{pq} c$	$\underline{p}, \underline{o}, pq$	2	IV	III	V
3	$(p + \epsilon_q) a + qb$	$\underline{q}, \underline{o}, o$	3	I	III	III
16	$(p + \epsilon_q) a + qb + \zeta_p c$	$\underline{q}, \underline{o}, p$	3	III	III	V
17	$(p + \epsilon_q) a + qb + \zeta_q c$	$\underline{q}, \underline{o}, q$	3	I	V	V
18	$(p + \epsilon_q) a + qb + \zeta_{pq} c$	$\underline{q}, \underline{o}, pq$	3	III	V	V
4	$(p + \epsilon_{pq}) a + qb$	$\underline{pq}, \underline{o}, o$	4	II	II	III
19	$(p + \epsilon_{pq}) a + qb + \zeta_p c$	$\underline{pq}, \underline{o}, p$	4	IV	III	V
20	$(p + \epsilon_{pq}) a + qb + \zeta_q c$	$\underline{pq}, \underline{o}, q$	4	II	V	V
21	$(p + \epsilon_{pq}) a + qb + \zeta_{pq} c$	$\underline{pq}, \underline{o}, pq$	4	IV	V	V
5	$(p + \epsilon_p) a + (q + \eta_p) b$	$\underline{p}, \underline{p}, o$	5	IV	I	IV
22	$(p + \epsilon_p) a + (q + \eta_p) b + \zeta_p c$	$\underline{p}, \underline{p}, p$	5	VI	I	VI
23	$(p + \epsilon_p) a + (q + \eta_p) b + \zeta_q c$	$\underline{p}, \underline{p}, q$	5	IV	III	VI

TABLEAU II (suite)

	FORMULE	SYMBOLE	PROJECTION SUR LE PLAN a, b TYPE N° :	TYPE DES DIRECTIONS		
				10	01	xy
24	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_p) \mathbf{b} + \zeta_{pq} \mathbf{c}$	$\underline{p}, \underline{p}, pq$	3	VI	III	VI
6	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_q) \mathbf{b}$	$\underline{p}, \underline{q}, o$	6	II	II	IV
25	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_q) \mathbf{b} + \zeta_p \mathbf{c}$	$\underline{p}, \underline{q}, p$	6	IV	II	VI
26	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_q) \mathbf{b} + \zeta_{pq} \mathbf{c}$	$\underline{p}, \underline{q}, pq$	6	IV	IV	VI
7	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b}$	$\underline{p}, \underline{pq}, o$	7	IV	II	IV
27	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_p \mathbf{c}$	$\underline{p}, \underline{pq}, p$	7	VI	II	VI
28	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_q \mathbf{c}$	$\underline{p}, \underline{pq}, q$	7	IV	IV	VI
29	$(p + \varepsilon_p) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_{pq} \mathbf{c}$	$\underline{p}, \underline{pq}, pq$	7	VI	IV	VI
8	$(p + \varepsilon_q) \mathbf{a} + (q + \eta_p) \mathbf{b}$	$\underline{q}, \underline{p}, o$	8	III	III	IV
30	$(p + \varepsilon_q) \mathbf{a} + (q + \eta_p) \mathbf{b} + \zeta_p \mathbf{c}$	$\underline{q}, \underline{p}, p$	8	V	III	VI
31	$(p + \varepsilon_q) \mathbf{a} + (q + \eta_p) \mathbf{b} + \zeta_{pq} \mathbf{c}$	$\underline{q}, \underline{p}, pq$	8	V	V	VI
9	$(p + \varepsilon_q) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b}$	$\underline{q}, \underline{pq}, o$	9	III	IV	IV
32	$(p + \varepsilon_q) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_p \mathbf{c}$	$\underline{q}, \underline{pq}, p$	9	V	IV	VI
33	$(p + \varepsilon_q) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_q \mathbf{c}$	$\underline{q}, \underline{pq}, q$	9	III	VI	VI
34	$(p + \varepsilon_q) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_{pq} \mathbf{c}$	$\underline{q}, \underline{pq}, pq$	9	V	VI	VI
10	$(p + \varepsilon_{pq}) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b}$	$\underline{pq}, \underline{pq}, o$	10	IV	IV	IV
35	$(p + \varepsilon_{pq}) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_p \mathbf{c}$	$\underline{pq}, \underline{pq}, p$	10	VI	IV	VI
36	$(p + \varepsilon_{pq}) \mathbf{a} + (q + \eta_{pq}) \mathbf{b} + \zeta_{pq} \mathbf{c}$	$\underline{pq}, \underline{pq}, pq$	10	VI	VI	VI

TABLEAU III

Les types de désordre des systèmes de points triplement infinis.

Les colonnes 2, 3 et 4 indiquent le type de désordre des trois directions fondamentales. Les colonnes 5, 6 et 7 le type de désordre des plans fondamentaux, les numéros correspondent à ceux de la première colonne du tableau II.

N ^{os}	RANGÉES			PLANS			SYMBOLE
	[100]	[010]	[001]	(100)	(010)	(001)	
1	I	I	I	1	1	1	<i>o, o, o</i>
2	I	I	II	2	2	1	<i>o, o, r</i>
3	I	I	III	3	11	1	<i>o, r, o</i>
4	I	I	IV	5	13	1	<i>o, r, r</i>
5	I	I	V	17	17	1	<i>r, r, o</i>
6	I	I	VI	22	22	1	<i>r, r, r</i>
7	I	II	II	6	2	2	<i>o, q, r</i>
8	I	II	III	4	11	2	<i>o, qr, o</i>
9	I	II	III'	14	3	2	<i>r, q, o</i>
10	I	II	IV	25	5	2	<i>r, q, r</i>
11	I	II	IV'	7	13	2	<i>o, qr, r</i>
12	I	II	V	20	17	2	<i>r, qr, o</i>
13	I	II	VI	27	22	2	<i>r, qr, r</i>
14	I	III	III	12	3	3	<i>qr, o, o</i>
15	I	III	III'	16	11	3	<i>q, r, o</i>
16	I	III	IV	5	5	3	<i>qr, o, r</i>
17	I	III	IV'	23	13	3	<i>q, r, r</i>
18	I	III	V	18	17	3	<i>qr, r, o</i>
19	I	III	VI	24	22	3	<i>qr, r, r</i>
20	I	III'	III'	8	11	11	<i>o, r, q</i>
21	I	III'	IV	15	5	11	<i>r, o, rq</i>
22	I	III'	IV'	19	13	11	<i>o, r, rq</i>
23	I	III'	V	30	17	11	<i>r, r, q</i>
24	I	III'	VI	33	22	11	<i>r, r, rq</i>
25	I	IV	IV	25	5	5	<i>qr, q, r</i>
26	I	IV	IV'	28	13	5	<i>q, qr, r</i>
27	I	IV	V	21	17	5	<i>qr, qr, o</i>
28	I	IV	VI	29	22	5	<i>qr, qr, r</i>
29	I	IV'	IV'	10	13	13	<i>o, qr, qr</i>
30	I	IV'	V	32	17	13	<i>r, qr, q</i>
31	I	IV'	VI	35	22	13	<i>r, qr, qr</i>
32	I	V	V	31	17	17	<i>qr, r, q</i>
33	I	V	VI	34	22	17	<i>qr, r, qr</i>
34	I	VI	VI	36	22	22	<i>qr, qr, qr</i>
35	II	II	II	6	6	6	<i>p, q, r</i>

TABLEAU III (*suite*)

N ^{os}	RANGÉES			PLANS			SYMBOLE
	[100]	[010]	[001]	(100)	(010)	(001)	
36	II	II	III	14	4	6	<i>pr, q, o</i>
37	II	II	IV	25	7	6	<i>pr, q, r</i>
38	II	II	V	20	20	6	<i>pr, qr, o</i>
39	II	II	VI	27	27	6	<i>pr, qr, r</i>
40	II	III	III	12	4	4	<i>pqr, o, o</i>
41	II	III	III'	16	14	4	<i>pq, r, o</i>
42	II	III	IV	15	7	4	<i>pqr, o, r</i>
43	II	III	IV'	23	25	4	<i>pq, r, r</i>
44	II	III	V	18	20	4	<i>pqr, r, o</i>
45	II	III	VI	24	27	4	<i>pqr, r, r</i>
46	II	III'	III'	8	14	14	<i>p, r, q</i>
47	II	III'	IV	15	7	14	<i>pr, o, qr</i>
48	II	III'	IV'	19	25	14	<i>p, r, qr</i>
49	II	III'	V	30	20	14	<i>pr, r, q</i>
50	II	III'	VI	33	27	14	<i>pr, r, qr</i>
51	II	IV	IV	26	7	7	<i>pqr, q, r</i>
52	II	IV	IV'	28	25	7	<i>pq, qr, r</i>
53	II	IV	V	21	20	7	<i>pqr, qr, o</i>
54	II	IV	VI	29	27	7	<i>pqr, qr, r</i>
55	II	IV'	IV'	10	25	25	<i>p, qr, qr</i>
56	II	IV'	V	32	20	25	<i>pr, qr, q</i>
57	II	IV'	VI	35	27	25	<i>pr, qr, qr</i>
58	II	V	V	31	20	20	<i>pqr, r, q</i>
59	II	V	VI	34	27	20	<i>pqr, r, qr</i>
60	II	VI	VI	36	27	27	<i>pqr, qr, qr</i>
61	III	III	III	12	8	8	<i>qr, p, o</i>
62	III	III	IV	15	23	8	<i>qr, p, r</i>
63	III	III	V	18	18	8	<i>qr, pr, o</i>
64	III	III	VI	24	24	8	<i>qr, pr, r</i>
65	III	III'	III'	8	12	16	<i>o, pr, q</i>
66	III	III'	IV	15	23	16	<i>r, p, qr</i>
67	III	III'	IV'	19	15	16	<i>o, pr, qr</i>
68	III	III'	V	30	18	16	<i>r, pr, q</i>
69	III	III'	VI	33	24	16	<i>r, pr, qr</i>
70	III	IV	IV	26	15	9	<i>qr, pq, r</i>
71	III	IV	IV'	28	23	9	<i>q, pqr, r</i>
72	III	IV	V	21	18	9	<i>qr, pqr, o</i>
73	III	IV	VI	29	24	9	<i>qr, pqr, r</i>
74	III	IV'	IV'	10	23	19	<i>o, pqr, pr</i>
75	III	IV'	V	32	18	19	<i>r, pqr, q</i>
76	III	IV'	VI	35	24	19	<i>r, pqr, qr</i>
77	III	V	V	31	18	30	<i>qr, pr, q</i>
78	III	V	VI	34	24	30	<i>qr, pr, qr</i>
79	III	VI	VI	36	24	33	<i>qr, pqr, qr</i>
80	III'	III'	IV	15	15	12	<i>r, o, pqr</i>

TABLEAU III (*suite et fin*)

N ^{os}	RANGÉES			PLANS			SYMBOLE
	[100]	[010]	[001]	(100)	(010)	(001)	
81	III'	III'	V	30	30	12	<i>r, r, pq</i>
82	III'	III'	VI	33	33	12	<i>r, r, pqr</i>
83	III'	IV	IV'	28	28	23	<i>q, qr, pr</i>
84	III'	IV	V	21	21	23	<i>qr, qr, p</i>
85	III'	IV	VI	29	33	23	<i>qr, qr, pr</i>
86	III'	IV'	V	32	30	15	<i>r, qr, pq</i>
87	III'	IV'	VI	35	33	15	<i>r, qr, pqr</i>
88	III'	V	VI	34	33	18	<i>qr, r, pqr</i>
89	IV	IV	IV	28	26	10	<i>pqr, pq, r</i>
90	IV	IV	V	21	21	10	<i>pqr, pqr, o</i>
91	IV	IV	VI	29	29	10	<i>pqr, pqr, r</i>
92	IV	IV'	IV'	10	28	28	<i>p, pqr, qr</i>
93	IV	IV'	V	32	21	28	<i>r, qr, pq</i>
94	IV	IV'	VI	35	29	28	<i>r, qr, pqr</i>
95	IV	V	V	31	21	32	<i>pqr, pr, q</i>
96	IV	V	VI	34	29	32	<i>pqr, pr, qr</i>
97	IV	VI	VI	36	29	35	<i>pqr, pqr, qr</i>
98	IV'	IV'	V	32	32	28	<i>pqr, qr, p</i>
99	IV'	IV'	VI	35	35	28	<i>pr, qr, pqr</i>
00	IV'	V	VI	34	35	21	<i>pqr, r, pqr</i>
01	V	V	V	31	34	31	<i>qr, pr, pq</i>
02	V	V	VI	34	34	31	<i>qr, pr, pqr</i>
03	V	VI	VI	36	34	34	<i>qr, pqr, pqr</i>
04	VI	VI	VI	36	36	36	<i>pqr, pqr, pqr</i>

BIBLIOGRAPHIE

- AVAIS, A. (1848). — *J. Écol. Polytech.* France, 32, 1-125.
 BRIDO, J. (1951). — *Leçons sur la structure atomique des cristaux*,
 p. 23-26, Porto.

UNE ESPÈCE MINÉRALE DISCRÉDITÉE BUSZITE = BASTNAËSITE

PAR MM. J. GOÏN et C. GUILLEMIN,
Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Sommaire. — La buszite qui était considérée comme un silicate de terres rares, est en réalité la bastnaésite, fluo-carbonate de cérium de terres rares.

En 1928, le Dr. F. Krantz, minéralogiste et marchand à Bonn, reçut un spécimen provenant de Khan, sud-ouest africain. C'était un cristal brun rougeâtre de 12 sur 9 mm accompagné d'un petit cristal de beryl bleu.

L'échantillon fut communiqué au Dr. Steinwachs, de Munster, qui l'étudia partiellement, Krantz ne voulant pas qu'il soit endommagé. Sur les données fragmentaires ainsi obtenues, Steinwachs (1929) crut pouvoir affirmer : « Nach den dargestellten kristallographischen Messungen und physikalischen Bestimmungen unterliegt es jedoch keinen Zweifeln, dass wir es hier mit einem neuen, wohl kristallisierten Mineral zu haben ». Il dédia l'espèce ainsi créée au Dr. K. Busz de Munster. D'après Steinwachs le minéral était un *silicate de diverses terres rares*, en particulier néodyme, praséodyme, erbium et europium, déterminées par analyse spectrale.

Ce spécimen, unique représentant d'une espèce, fut acquis par M. le colonel Vésignié. Sa composition nous ayant paru curieuse et la détermination primitive ayant été très incomplète, nous avons demandé à M. le colonel Vésignié, l'autorisation d'étudier ce minéral, autorisation qui nous fut accordée avec une extrême obligeance.

Une microanalyse qualitative nous a montré qu'il s'agissait

réalité d'un fluo-carbonate de cérium et terres rares, ce qui
us amena à comparer le minéral avec les espèces :

parisite.....	$(\text{Ce}, \text{La})_2\text{Ca} (\text{CO}_3)_3\text{F}_2$
bastnaésite.....	$(\text{Ce}, \text{La}) (\text{CO}_3) \text{F}$
synchisite.....	$(\text{Ce}, \text{La}) \text{Ca} (\text{CO}_3)_2 \text{F}$

Propriétés cristallographiques.

Le cristal appartient à l'hémiédrie triangulaire du système
ragonal $\bar{6} 2 m$. Après avoir vérifié les valeurs angulaires
nées par Steinwachs,

is avons été amenés à
nger l'orientation des
s, ce qui nous a con-
ts à un rapport $a : c =$
1,361 pratiquement égal
elui de la bastnaésite :

$c = 1 : 1,3598$; alors
e la parisite et la
chisite ont le
me rapport :
 $c = 1 : 3,873$.

Le cristal présente les
mes (fig. 1) : $c (0001)$,
 $10\bar{1}0$, $a (11\bar{2}0)$, $h (21\bar{3}0)$
 $(11\bar{2}2)$.

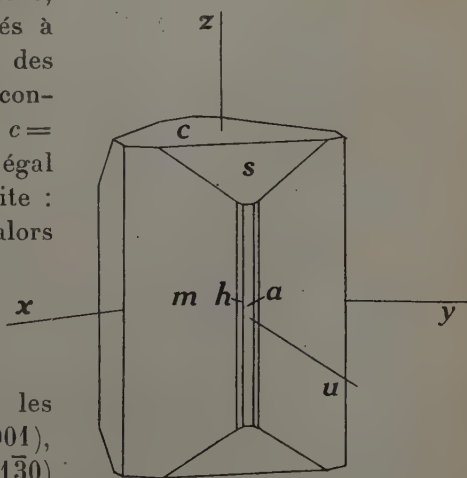


FIG. 1.

Les angles (Steinwachs) sont : $11\bar{2}2 : \bar{2}112 = 88^\circ 32'$
 $11\bar{2}2 : 0001 = 53^\circ 40'$
 $10\bar{1}0 : 21\bar{3}0 = 19^\circ 6'$

La structure atomique de la bastnaésite a été déterminée
Ofstedahl (1929). Le groupe spatial est $D_{3h}^4 - C \bar{6} 2 c$.
us signalons ici un erratum dans le volume II du Dana's
tem of Mineralogy — 7^e édition — qui indique pour la
tnaésite $C \bar{6} c 2$, groupe correspondant à D_3^2 .)

Propriétés physiques.

Dans le tableau I nous donnons les principales propriétés physiques de la buszite et des espèces auxquelles nous l'avons comparée.

TABLEAU I

	PARISITE	BASTNAËSITE	BUSZITE	SYNCHISITE
Clivage....	douteux sur 0001	douteux sur 1010	pas de clivage visible	douteux sur 0001
Cassure ...	subconchoïdale	inégale	inégale	subconchoïdale
Densité....	4,36	4,9 à 5,2	5,12 \pm 0,02	3,90
Dureté....	4,5	5	5	4,5
Couleur...	cire translucide	brun rouge translucide	brun rouge translucide	jaunâtre translucide
Signe.....	uniaxe +	uniaxe +	uniaxe +	uniaxe +
optique....	pléochroïsme faible	pléochroïsme très faible	pléochroïsme très faible	pléochroïsme très faible
<i>Indices en lumière de</i>				
Na	no : 1,676 ne : 1,757	1,717 1,818	1,718 1,815	1,674 1,770

Propriétés chimiques.

Analyse qualitative :

Le minéral est lentement attaqué à froid avec dégagement gazeux faible ; à chaud, l'effervescence est rapide. Nous avons caractérisé le fluor, le cérium et les terres cériques. Le minéral ne contient pas de calcium.

Analyse quantitative :

Nous avons dosé le cérium et les terres cériques sur le résidu provenant de l'analyse thermique différentielle de la buszite (séparation du cérium et des terres cériques par la méthode à l'iodate de potassium).

TABLEAU II

Analyses chimiques.

	(1)	(2)	(3)	(4)
Ce ₂ O ₃	37,2	37,71	30,56	26,42
(La, Di) ₂ O ₃ ..	36,4	36,29	30,33	26,22
CaO	0	0	10,44	18,03

(1) : buszite, (Khan, sud-ouest africain); (2) : bastnaésite, Pikes Peak, Colorado); (3) : parisite, (Muso, Colombie); (4) : synchisite, (Narsarsuk, Groenland). (Dana, 1952.)

Analyse thermique différentielle :

Les deux courbes obtenues avec la bastnaésite et la buszite dans les mêmes conditions sont pratiquement identiques, aux erreurs d'expérience près.

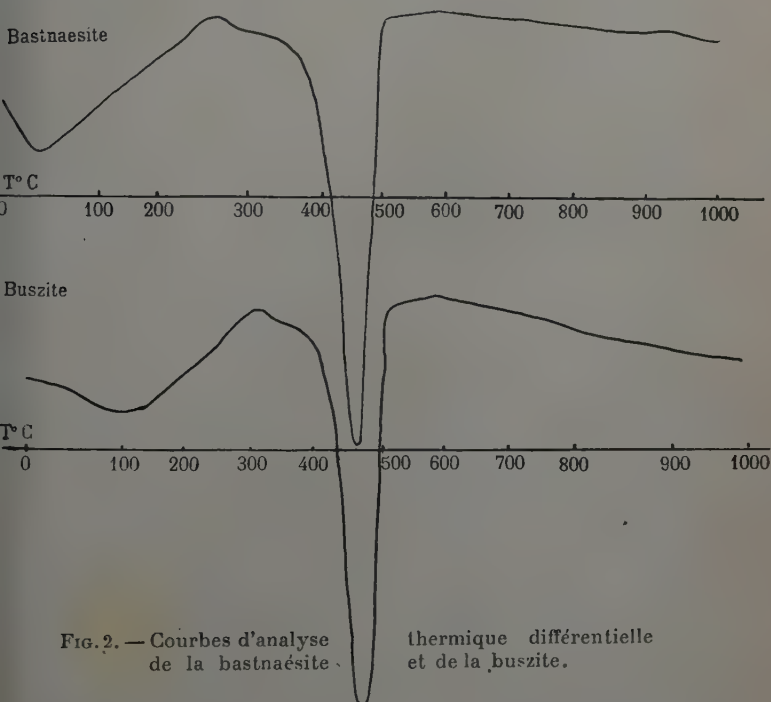


FIG. 2. — Courbes d'analyse thermique différentielle de la bastnaésite et de la buszite.

Après les crochets à basse température dus à l'eau hygroscopique, nous trouvons un phénomène endothermique très net, dû au dégagement de CO_2 , commençant à 360° , finissant à 509° avec un maximum à 460° .

Analyse aux rayons X :

Les diagrammes de Debye-Scherrer effectués sur des spécimens de : bastnaésite (Madagascar) — buszite — synchisite

TABLEAU III

Dépouillement des spectres de Debye-Scherrer (CuK_α).

Bastnaésite	Buszite	Synchisite	Parisite
4,86 Å	4,81 Å	4,56 Å	
3,55	3,52	3,52	3,44 Å
2,87	2,85	2,78	2,73
2,44	2,42	2,31	
2,06	2,04	2,04	2,00
2,01	2,00		
1,90	1,88	1,92	1,91
1,78	1,77	1,86	1,84
1,68	1,67	1,77	1,74
1,58	1,57	1,65	1,63
1,48	1,48	1,52	1,51
1,44	1,43		
1,35	1,34	1,40	1,40
1,30	1,29	1,34	1,39
	1,27	1,28	1,32
	1,19		1,27
1,16	1,17	1,18	
	1,14	1,16	
		1,14	

(Groenland) — parisite (Colombie) confirment l'identité de la bastnaésite et de la buszite. Les diagrammes ont été obtenus avec la radiation $K\alpha$ Cu.

Conclusion :

L'étude précédente, pour laquelle nous tenons à remercier M. Curien qui nous a considérablement aidés pour l'étude des propriétés cristallographiques, permet de supprimer l'espèce buszite, qui est en réalité la bastnaésite.

BIBLIOGRAPHIE

- Dana's system of mineralogy*, 1952, 2 (7^e édition), 284, 288, 290.
OFTEDAL, I., (1929). — *Z. Kristallogr.*, Dtsch., 72, 239-48.
OFTEDAL, I., (1931). — *Z. Kristallogr.*, Dtsch., 78, 462-9.
STEINWACHS, E., (1929). — *Centralblatt Miner. Geol. Paläont.*, A, 202-5.

REVUE DES ESPÈCES MINÉRALES NOUVELLES

PAR C. GUILLEMIN,
Laboratoire de minéralogie de la Sorbonne (Paris)

ET F. PERMINGEAT,
Service géologique du Maroc (Rabat).

ABRÉVIATIONS UTILISÉES :

<i>Chim.</i> propriétés chimiques.	<i>Gis.</i> gisements.
<i>Crist.</i> — cristallographiques.	<i>Opt.</i> propriétés optiques.
<i>Étym.</i> étymologie.	<i>Phys.</i> — physiques.
<i>Disc.</i> discussion.	<i>Obs.</i> observations.

BÉTA-CÉROLITE ALPHA-CÉROLITE

I. I. GUINSBOURG et I. A. ROUKAVICHNIKOVA. — Béta-cérolite : $3 \text{ MgO} \cdot 3 \text{ SiO}_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$. *Mém. Soc. russe Min.*, 79, p. 33-44, 1950. — Résumé sur traduction de G. JOURAVSKY.



Crist. — Trois spectres de poudres sont donnés; ils diffèrent un peu entre eux, ressemblent à ceux de la « garniérine », de la beidellite et de la montmorillonite mais se distinguent nettement de ceux du chrysotile et de l'alpha-cérolite.

Phys. — Aspect de gel avec couches alternées, cryptofeuilletées et fibro-radiées. Au microscope électronique ($\times 22.000$) : structure écailleuse. Cassure subconchoïdale. Poudre blanche, parfois teintée de jaune. $d = 2,165$. Dureté : 2,5. Des courbes d'analyses thermiques sont données et comparées à celles d'autres minéraux; elles présentent trois crochets endothermiques caractéristiques entre : $120^\circ\text{--}150^\circ$, $625^\circ\text{--}650^\circ$ et $840^\circ\text{--}890^\circ$. La courbe de déshydratation montre, par rapport à la substance séchée à 100° , une perte de poids de : 20 % entre :

250° et 300°, 26 % entre 450° et 600° et 43 % au-dessus de 600°. La teneur en eau est variable suivant la structure. Absorbe l'eau et éclate avec bruit, sans gonfler sensiblement. Avec les colorants acides se comporte comme l'halloysite.

Opt. — Jaune, parfois blanche ou verdâtre. Éclat gras. Translucide sur les bords. En lame mince : transparent, faiblement jaunâtre. Les parties cryptofeuilletées ont une biréfringence faible avec $n = 1,513-1,516$; pour les parties fibroradiées : $n_g = 1,489-1,491$; $n_p = 1,483-1,486$. Cependant l'indice atteint parfois 1,520-1,525.

Chim. — *Analyse*, par E. P. LAZARIEVITCH de la bêta-cérolite du conglomérat de la rivière Tchaouj :

SiO ₂	49,84
TiO ₂	néant
Al ₂ O ₃	0,38
Fe ₂ O ₃	0,34
MgO.....	30,55
CaO.....	0,50
H ₂ O—.....	8,75
H ₂ O+.....	8,78
Perte feu.....	1,30
Total.....	100,44

Composition identique à celle de la cérolite : ce serait le terme magnésien extrême de la beidellite. Elle est comparée à celle de la beidellite magnésienne d'Hector (*cf.* hectorite, *Bull. Soc. fr. Min. Crist.*, 73, p. 115, 1950) dont les propriétés physiques, optiques et thermiques sont différentes. Donne des variétés nickélifères.

Gis. — Abondante dans les conglomérats anciens du gisement Krasno-Ouralsky, sur les rivières Tchaouj et Roublièvik. Elle cimente les galets de dunité, de serpentine dunitique et de pyroxénite, et les recoupe en veinules. Elle a été aussi reconnue dans les gisements Anatolsky, Sousansky, etc... La cérolite des conglomérats de la vallée Soïmonovskaïa, décrite par A. V. NIKOLAÏEV, est sans doute aussi de la bêta-cérolite.

Ce minéral serait assez répandu. Il se forme par voie hypergène, à partir de la serpentine, et s'altère en carbonates ou en un silicate magnésien blanc avec de l'opale.

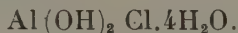
Étym. — Les auteurs proposent d'appeler *béta-cérolite* le nouveau minéral, la cérolite devenant alors l'*alpha-cérolite*.

Obs. — Les auteurs placent la béta-cérolite dans le groupe de la montmorillonite en se basant sur les spectres de poudres. Cependant certaines de ses propriétés physiques l'en éloignent nettement pour la rapprocher de l'halloysite. Ils confondent sous le nom de « garniérite », des minéraux différents. En outre, la formule donnée ne correspond pas à l'analyse, et elle n'est pas clairement établie.

F. P.

CADWALADERITE

S. G. GORDON. — Cadwaladerite, a new aluminum mineral from Cerro Pintados, Chile. — *Not. Nat. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*, n° 80, 1941.



Phys. — En petites masses ou en grains amorphes. Cassure conchoïdale. $d = 1,66$. Faiblement hygroscopique.

Opt. — Jaune citron. Éclat vitreux, transparent à translucide. Isotrope. $n = 1,53$, mais variable.

Chim. — *Analyse* par W. PITMAN :

Al_2O_3	27,50
CaO	2,07
Na_2O	1,85
K_2O	0,90
SO_3	0,82
Cl	22,96
$\text{H}_2\text{O} +$	24,99
$\text{H}_2\text{O} -$	25,13
Total	106,32 (<i>sic</i>)
— $\text{O} = \text{Cl}_2$	5,18
Total	101,14

Après déduction de SO_3 sous forme de gypse, de Na et K sous forme de chlorures, on obtient la formule ci-dessus.

Gis. — Trouvée en association avec la halite sur de vieux déblais d'un gisement contenant : tamarugite, pickeringite, gypse, trudellite, copiapite, etc..., à Cerro Pintados, 80 km. SE d'Iquique, Province de Tarapaca, Chili.

Étym. — Dédiée à C. M. B. CADWALADER, président de l'*Academy of Natural Sciences* de Philadelphie.

F. P.

FRINGELITE

M. BLUMER. — Fossile Kohlenwasserstoffe und Farbstoffe in Kalksteine (Geochemische Untersuchungen III) Vorläufige Mitteilungen. — *Mikrochem. Acta*, Wien, 36, 37, p. 1048-1055, 1951.

L'examen d'une lame mince faite sur la tige colorée en violet d'un lis de mer fossile (*Milericrinus* Spec.) provenant des calcaires rauraciens du Jura suisse, montre la présence de très petits cristaux de matière colorante dans une calcite incolore. Après dissolution de cette dernière, il reste la matière colorante fossile : Fringélite.

Crist. — Poudre noire à l'observation macroscopique, qui à plus fort grossissement, montre de petits cristaux allongés et des agrégats arrondis.

Opt. — Anisotrope. Biaxe négatif. Pléochroïque. $n_p = 1,64$, $n_g = 2,0$; double réfraction entre 300 et 400.

Chim. — Très soluble dans les solvants organiques, en particulier dans la pyridine, en donnant une solution colorée en rouge. Il apparaît que l'on se trouve en présence d'un mélange de plusieurs matières colorantes oxyquinoniques fossiles.

Ces composés pourraient provenir d'une transformation de l'échinochrome ou d'un colorant naphtoquinonique.

Étym. — D'après un des gîtes.

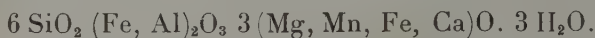
Disc. — La fringélite, étant un mélange, n'est donc pas une espèce définie. Elle pose de plus la question de ces multiples

espèces qui ont été créées avec les carbures d'hydrogène et qui ne semblent pas appartenir vraiment à la Minéralogie.

C. G.

GUNNBJARNITE

O. B. BÖGGILD. — Gunnbjarnite, a new mineral from East Greenland. — *Meddel. Grønland*, 142, p. 3-11, 1951.



Crist. — Orthorhombique. Lames aplaties dont l'épaisseur dépasse rarement quelques millimètres et qui sont limitées par un clivage bien développé.

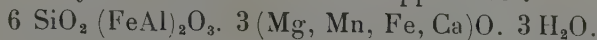
Phys. — Clivage parfait suivant 001 et facile suivant (010). Les lamelles provenant du clivage principal sont flexibles et élastiques. Dureté : 2 à 2,5. La densité et les autres propriétés physiques sont variables. La densité varie entre 2,03 et 2,3.

Opt. — Brun noir avec éclat nacré sur la face de clivage. Translucide. Minéral biaxe négatif avec $2V = 60^\circ$. Les indices sont variables. $n_m = 1,54$ à $1,57$; $n_g = 1,56$ à $1,59$.

Chim. :

SiO ₂	43,15
TiO ₂	0
Al ₂ O ₃	3,29
Fe ₂ O ₃	14,57
FeO.....	1,06
MnO.....	0,13
MgO.....	12,98
CaO.....	3,66
H ₂ O (+ 110).....	7,19
H ₂ O (— 110).....	12,17
CO ₂	n. d.
Total.....	98,20

Cette analyse conduit à la formule approchée :



Le minéral perd 8,3 % d'eau au vide sulfurique en

210 heures. Il se réhydrate facilement. Il est comparable à la nontronite.

Gis. — Le minéral se trouve en veinules de 0,5 à 3 cm. d'épaisseur dans un dyke de basalte, traversant des sédiments crétacés et triasiques, dans la presqu'île de Hold with Hope. Est Groenland.

Étym. — D'après GUNNBJORN ULFSSON, qui découvrit le Groenland vers l'an 900.

Disc. — L'étude de cette nouvelle espèce est incomplète. Sa validité ne pourrait être prouvée qu'après étude à la thermobalance et aux rayons X.

C. G.

HUMMERITE

A. D. WEEKS, E. A. CISNEY et A. M. SHERWOOD. — Hummerite and montroseite, two vanadium minerals from Montrose County, Colorado. — *Prog. Abst. Min. Soc. Am.*, p. 22-23, 1950. — Résumé in *Am. Min.*, 36, p. 326-327, 1951.

Crist. — Cristaux tricliniques holoèdres, allongés suivant *c* ou tabulaires suivant le plan *bc*, obtenus par évaporation d'une solution aqueuse et donnant le même spectre de poudres que la substance naturelle.

Opt. — Orangé ou jaune. Translucide. Ressemble à la pascoïte. Biaxe négatif. Dispersion forte. $n_m = 1,81$.

Chim. — Vanadate hydraté de magnésium. Soluble dans l'eau.

Gis. — Trouvée en veines dans une argile grise à la mine Hummer, puis, en efflorescences sur un grès, à la mine North Star, Paradox Valley, Montrose County, Colorado.

Étym. — D'après le gisement-type : mine Hummer.

Obs. — Fera l'objet d'une publication détaillée.

F. P.

LOUGHLINITE

J. J. FAHEY et J. M. AXELROD. — Loughlinite, a new hydrous magnesium silicate. — *Prog. Abst. Min. Soc. Am.*, p. 9, 1947. — Résumé in *Am. Min.*, 33, p. 195, 1948.

Crist. — Spectre de poudres différent de celui de tous les silicates de magnésie connus.

Phys. — Asbestiforme.

Chim. — Silicate hydraté de magnésie avec $\text{SiO}_2 : \text{MgO} = 2$.

Gis. — Trouvée en 1940 dans un sondage, puis, en 1946 dans un autre sondage, en très petites quantités; enfin, en 1947, au cours du fonçage d'un puits, en veines dans un schiste bitumineux renfermant des cristaux de shortite. Ces 3 gisements sont situés entre 18 et 32 km. à l'W de Green River, Sweetwater County, Wyoming.

Étym. — Dédiée à G. F. LOUGHLIN qui fut géologue en chef à l'U. S. Geological Survey.

Obs. — Encore en cours d'études, fera prochainement l'objet d'une publication plus complète (M. FLEISCHER, communication personnelle).

F. P.

MANGANESE-HOERNESITE

O. GABRIELSON. — Manganiferous hoernesite and manganese-hoernesite from Langban, Sweden. — *Ark. för Min. och Geol.* Band I-H. 3-3, 1952, p. 333-337.



Crist. — Se présente soit sous forme de cristaux aciculaires, soit sous forme de cristaux aplatis suivant (010), ressemblant aux cristaux de gypse. Les individus cristallins sont groupés en rosettes, atteignant 1 cm.

Formes : (010) — (201) — (100). Monoclinique.

Le diagramme de Debye-Scherrer est donné. Les dimensions de la maille sont : $a = 10,38 \text{ \AA}$, $b = 28,09 \text{ \AA}$, $c = 4,774 \text{ \AA}$, $\beta = 105^\circ 40'$. Le groupe spatial est $\text{C}_{2h}^5\text{-P } 2_1|c$.

Phys. — Clivage parfait suivant (010), imparfait suivant (100) et (201). Blanc à incolore, poussière blanche. Transparent en esquilles. Nacré sur les surfaces de clivage. Dureté : 1. Densité : 2,64 (2,76 calculée).

Opt. — Le plan des axes optiques est perpendiculaire à (010). $2V = 65\text{-}70^\circ$. Positif. Les indices de réfraction varient

peu avec la proportion de manganèse: $n_p = 1,579$, $n_m = 1,589$, $n_g = 1,609$.

Chim. :

As ₂ O ₅	40,78
MnO.....	22,87
MgO.....	9,47
CO ₂	1,35
H ₂ O.....	25,64
Total	100,11

Le rapport Mg/Mn est environ de 2/3. Le minéral peut être défini comme formé en proportion variable des deux molécules Mg₃(AsO₄)₂. 8 H₂O et Mn₃(AsO₄)₂. 8 H₂O. Si le pourcentage de manganèse est supérieur à celui du magnésium, on donne au minéral le nom de manganèse-hoernesite. Si c'est le pourcentage de magnésium qui prédomine, on adopte le nom de hoernesite manganésifère.

Gis. — Dans les fissures d'un skarn des mines de Langban, avec allodelphite et rhodocrosite.

Ces minéraux se sont formés à très basse température.

C. G.

MATTEUCITE

G. CAROBBI et C. CIPRIANI. — Ralstonite e bisolfato sodico (Matteucite) fra i prodotti delle fumarole vesuviane. — *Atti Acc. Naz. Lincei*, cl. Sc. fis. mat. nat., 12, p. 23-29, 1952.



Cristaux microscopiques, biaxes. $2V = 36^\circ$, qui se trouvent avec la mercallite et la ralstonite, formant des stalactites de 5 à 6 cm. de long, dans une cavité de la lave, au fond du cratère du Vésuve.

La présence de la matteucite est déduite de l'analyse globale de la couche externe de ces stalactites et du spectre de Debye-Scherrer de cette même couche. Il apparaît en effet en plus du diagramme de la ralstonite, une raie d'intensité 100 à $d = 3,47$. Cette raie est interprétée par les auteurs

comme résultant de l'union des raies $d = 3,55$ et $d = 3,43$ du bisulfate de sodium monohydraté.

Étym. — D'après V. MATTEUCI, ancien directeur de l'Observatoire du Vésuve.

Disc. — Cette étude très sommaire n'autorise pas la création d'une espèce nouvelle.

C. G.

METASANIDINE

C. OFTEDAHL. — Studies on the igneous rock complex of the Oslo région. IX : The Feldspars. — *Skrift. Norsk. Vidensk. Akad. Oslo, Mat. Nat. Kl.*, n° 3, 1949.

Ce nom est donné à des variétés de sanidine, présentant des propriétés optiques variables, qui résultent d'une exsolution partielle, l'exsolution complète donnant la cryptoperthite.

C. G.

MONTROSEITE

A. D. WEEKS, E. A. CISNEY et A. M. SHERWOOD. — Hummerite and montroseite, two vanadium minerals from Montrose County, Colorado. — *Prog. Abst. Min. Soc. Am.*, p. 22-23, 1950. — Résumé in *Am. Min.*, 36, p. 326-327, 1951.



Crist. — Orthorhombique, probablement holoèdre. Cristaux lamellaires microscopiques.

Opt. — Noir. Opaque.

Gis. — Trouvée dans la mine de Bitter Creek, Paradox Valley, Montrose County, Colorado.

Étym. — D'après la région du gisement : Montrose County.

Obs. — Fera l'objet d'une publication détaillée.

F. P.

STIBIOBISMUTOTANTALITE

M. C. BANDY. — The Ribaue-Alto Ligonha pegmatite district, Portuguese East Africa. — *Rocks and Minerals*, Peekskill, N. Y., 26, p. 512-521, 1951.

Nom donné à une variété de stibiotantalite, contenant 3,98 % de Bi_2O_3 , se trouvant dans les gîtes de mica du Mozambique, accompagnée par des cristaux de tourmaline, de columbite, de samarskite, de monazite.

Disc. — Devrait être appelée stibiotantalite bismuthifère.

C. G.

ESPÈCES MINÉRALES DISCRÉDITÉES

1. — ESPÈCES RECONNUES IDENTIQUES

« LAPPARENTITE » (Ungemach) = TAMARUGITE

S. G. GORDON. — The identity of lapparentite with tamarugite. — *Not. Ac. Nat. Sc. Philadelphie*, n° 57, 1940.

Étym. — *Lapparentite* : UNGEMACH (*B. S. fr. Min. Crist.*, 58, p. 209-213, 1935) : sulfate hydraté d'alumine de la région de Copiapo, Chili.

Étude. — Sur des échantillons provenant de 6 gisements chiliens et ayant les caractères cristallographiques, optiques et physiques de la lapparentite. L'analyse donnée par UNGEMACH, conduisant à la formule : $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, est sans doute erronée.

Obs. — *Tamarugite* (SCHULZE, 1889) a priorité et on pourrait rejeter le nom de *lapparentite*, si ROST (*Rozpravy Ceske Ak.*, Kl. 2, 47, n° 11, 1937 et *N. Jb. Min.*, 1, p. 360, 1938) n'avait décrit sous ce nom un minéral qui diffère de la tamarugite et qui est peut-être une espèce distincte.

F. P.

« PYROCIASITE » = HYDROXYLAPLTITE

C. FRONDEL. — Mineralogy of the calcium phosphates in insular phosphate rock. — *Am. Min.*, 28, p. 225, 1943.

Étym. — *Pyroclasite* : SHEPARD (*Am. J. Sc.*, 22, p. 96, 1856) : phosphate de chaux hydraté, fluorifère, de l'île Los Monges, mer des Caraïbes. Il signala ensuite ce minéral dans les îles Mona et Moneta (*Am. J. Sc.*, 23, p. 400, 1882).

Étude. — Un échantillon de l'île Jarvis est formé d'apatite. Les échantillons-types n'ont pu être retrouvés. SHEPARD lui-même pensait que la « *pyroclasite* » n'était qu'un mélange de *monetite* et de « *monite* » (= *dahllite*).

F. P.

« WHITMANITE » = GEIKIELITE

1. J. MURDOCH. — *Prog. Abst. Min. Soc. Am.*, p. 11, 1948.

2. J. MURDOCH et J. J. FAHEY. — Geikielite, a new find from California. — *Am. Min.*, 34, p. 835-838, 1949.

Étym. — Titanate de Mg et Mn (1). Dédiée à A. R. WHITMAN.

Étude. — Une étude complète (2) du minéral de la carrière Jensen, Riverside County, Californie, a montré qu'il s'agissait en réalité d'une geikielite contenant 0,4 % MnO.

Obs. — *Geikielite* (FLETCHER, 1892) a priorité.

F. P.

ZEBEDASSITE = SAPONITE

F. MAZZI. — Riesame della zebedassite. — *Rend della Soc. Miner. Italiana*, Anno VIII, p. 134-140, 1952.

Étym. — Zebedassite, silicate d'alumine et de magnésium hydraté. A. BRUSONI : R. Istituto Lomb. Scienze e Lettere. *Rend.* 50, p. 646, 1917.

Étude. — Un échantillon type étudié chimiquement et aux rayons X, montre que l'on se trouve devant une variété de saponite.

C. G.

2. — SUBSTANCES HÉTÉROGÈNES

« AINALITE »

« IXIOLITE »

K. AMARK. — Une étude aux rayons X de la columbite stannifère de Varuträsk et des minéraux finlandais apparentés : ainalite et ixiolite. *Geol. För. Förh.*, 63, p. 295, 1941.

P. QUENSEL. — Cassitérite et columbite stannifère. — *Geol. För. Förh.*, 63, p. 300, 1941.

Étym. — *Ainalite* : NORDENSKIÖLD (1863) : cassitérite de Pennikoja, Finlande, contenant 8,78 % Ta₂O₅. *Ixiolite* : NOR-

DENSKIÖLD (1857) : tantalite de Skoglöbe, Finlande, contenant jusqu'à 12,0 % SnO_2 .

Étude. — Sur les minéraux naturels et sur composés synthétiques : la solubilité mutuelle de SnO_2 et des niobo-tantalates (orthorhombiques et quadratiques) est très faible. L'aïnalite et l'ixiolite sont des mélanges de *cassitérites* et de *niobo-tantalates*. A. B. EDWARDS (*Australasian Inst. Mining Metall.*, 120, p. 731, 1940) est arrivé à la même conclusion par l'étude des minéraux australiens analogues à ceux de Finlande.

F. P.

« ANTAMOKITE »

R. M. THOMPSON. — Antamokite discredited. — *Univ. Toronto Studies, Geol. Serv.*, 50, p. 79, 1946.

Étym. — Antamokite : ALVIR (*Eng. Mining Journ.*, 125, p. 616, 1928 et *Philippine J. Sc.*, 41, p. 137, 1930) : tellurure d'or et d'argent de la mine de Benguet, Antamok, îles Philippines.

Étude. — Sur échantillons types : il s'agit d'un mélange de *petzite* et de *calavérite*.

F. P.

« ARIZONITE »

TH. ERNST. — Ueber Schmelzgleichgewicht im System Fe_2O_3 - FeO - TiO_2 und Bemerkungen über die Mineral Pseudokrookit und Arizonit. — *Zeits. Angew. Min.*, 4, p. 394-409, 1943.

J. L. OVERHOLT, G. VAUX et J. L. RODDA. — The nature of « arizonite ». — *Am. Min.*, 35, p. 117-119, 1950.

Étym. — Arizonite : C. PALMER (*Am. J. Sc.*, 28, p. 353-356, 1909) : $\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$ d'une pegmatite de Hackberry, Mohave County, Arizona.

Étude. — Il s'agit d'un mélange d'*hématite*, d'*ilménite*, d'*anatase* et de *rutile* ; c'est peut-être de l'*ilménite* altérée.

F. P.

« BARTHITE »

E. FISCHER. — Ueber die Kristallform, chemische Zusammensetzung und systematische Stellung des Barthit. — *Zeits. Krist.*, 105, Heft 4, p. 268-272, 1944.

Étym. — *Barthite* : HENGLEIN et MEIGEN (*Cb. Min.*, p. 353, 1914) : arséniate basique de Zn et Cu de la mine de cuivre de Guchab, près Otavi, Sud-Ouest Africain.

Étude. — Donne le spectre de poudres de la série austinite-conichalcite. Les cristaux comportent une partie centrale incolore constituée d'*austinite* et une zone externe verte formée de *conichalcite*. L'analyse primitive était erronée, donnant : 64,0 — 65,7 % As_2O_5 , une nouvelle analyse a donné : 43,2 % As_2O_5 et 22,5 % CaO .

C. G.

« BASOBISMUTITE »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the oxydes and carbonates of bismuth. *Am. Min.*, 28, p. 531, 1943.

Étym. — *Basobismutite* : NENADKEVITCH (*Bull. Ac. Sc. Petrograd*, 11, p. 448-454, 1917) : carbonate hydraté de Bi, du Mont Schorl. Transbaïkalie, U. R. S. S.

Étude. — Sur échantillon-type : substance impure constituée surtout de *bismutite*, dont on reconnaît le spectre.

F. P.

« BODENBENDERITE »

C. MILTON et A. T. MYERS. — Bodenbenderite, a discredited species. — *Am. Min.*, 34, p. 608-611, 1949.

Étym. — *Bodenbenderite* : E. RIMANN (1928).

Étude. — Sur échantillon-type : l'analyse originale est reconnue erronée ; il s'agit d'un mélange de *spessartine* et de *fluorine* dont on trouve les raies dans le spectre de poudres.

F. P.

« CALCIUM-LAZULITE »

W. T. PECORA et J. J. FAHEY. — The lazulite-scorzalite isomorphous series. — *Am. Min.*, 35, p. 1-18, 1950.

Étym. — *Calcium-lazulite* : WATSON (*Washington Journ. Ac. Sc.*, 11, p. 386-390, 1921) : lazulite de Graves Mountain, Lincoln County, Georgie. U. S. A., supposée contenir 3,12 % CaO.

Étude. — Le calcium n'entre qu'en quantité insignifiante dans les minéraux de la série lazulite-scorzalite. Sur échantillons de la localité type, une nouvelle analyse n'a donné que 0,02 % CaO ; le calcium de l'analyse originale devait provenir d'impuretés : calcite, apatite et grenat.

F. P.

« GOONGARRITE »

R. M. THOMPSON. — Goongarrite and warthaïte discredited. — *Am. Min.*, 34, p. 459, 1949.

Étym. — *Goongarrite* : SIMPSON (*J. Roy. Soc. W. Australia*, 10, p. 65, 1924) : sulfure de Pb et Bi monoclinique du lac Goongarrrie, Comet Vale Township, Australie occidentale.

Étude. — Aux rayons X sur échantillon de la localité-type : il s'agit d'un mélange de *cosalite* et de *galène*.

F. P.

« HAGEMANNITE »

1. C. FRONDEL. — New data on elpasolite and hagemannite. — *Am. Min.*, 33, p. 84-87, 1948.

2. R. B. FERGUSON. — Observations on some aluminium fluoride minerals. — *Am. Min.*, 34, p. 383-397, 1949.

Étym. — *Hagemannite* : CU. SHEPARD (*Am. J. Sc.*, 41, p. 246, 1866) : fluorure de Na, Ca, Mg, Al et Fe d'Ivigut, Groenland.

Étude. — Il s'agit en réalité d'un mélange de *ralstonite* et de *thomsenolite* coloré par de l'oxyde de fer (1). L'étude aux rayons X (2) confirme ce résultat.

F. P.

« HISTRIXITE »

P. RAMDOHR. — Der « Histrixit » der Curtin-Davis Mine in North-Dundas, Nord-west-Tasmania. — *Neues Jahrb. Min. Monatsh.*, n° 6, p. 139-141, 1950.

Étym. — *Histrixite* : PETTERD (*Proc. Roy. Soc. Tasmania*, p. 18, 1902, et p. 95, 1906) : sulfo-antimonio-bismuthure de Cu et Fe, de la mine Curtin-Davis, Tasmanie.

Étude. — Sur les échantillons-types : il s'agit d'un mélange complexe d'au moins 10 minéraux : *panabase*, *jamesonite*, *pyrite*, *bismuthinite*, *mispickel*, *chalcopyrite*, *blende*, *marcasite* et des traces de : *pyrrhotine*, *bismuth natif*, *bourbonite* et d'un minéral non identifié.

F. P.

« HYDROGIOBERTITE »

« HYDRODOLOMITE »

S. CAILLÈRE. — Contribution à l'étude de l'hydromagnésite et de quelques autres hydrocarbonates magnésiens : l'hydrogiobertite, l'hydrodolomite et la giorgiosite. — *B. Soc. fr. Min.*, 66, p. 55-70, 1943.

Étym. — *Hydrogiobertite* : SCACCHI (*Rend. Ac. Napoli*, 24, p. 310, 1885). *Hydrodolomite* : DANA (*System Min.*, 3^e ed., p. 213, 1850).

Étude. — Ce sont des mélanges d'hydromagnésite et de calcite.

F. P.

« KLAPROTHITE » ou « KLAPROTHOLITE »

E. W. NUFFIELD. — Studies on mineral sulpho-salts : XI — Wittichenite (klaprothite). — *Econ. Geology*, 42, p. 147-160, 1947.

Étym. — *Klaprothite* : PETERSEN et SANDBERGER (*Jb. Min.*, p. 415, 1868) ou *klaprotholite* : BRUSH (in *Dana's system*, 1878) : $\text{Cu}_6\text{Bi}_4\text{S}_9$, de la mine Daniel, Wittichen, Bade.

Étude — Aux rayons X, sur échantillons du gisement-

type et d'autre localités, la klaprothite apparaît comme un mélange d'*emphlectite* et de *wittichenite* principalement.

F. P.

« **LOSSENITE** »

R. M. PEARL. — New data on lossenite, louderbackite, zepharovichite, peganite and sphaerite. — *Am. Min.*, 35, p. 1054-1059, 1950.

Étym. — *Lossenite* : MILCH (*Zeits. Krist.*, 24, p. 100, 1894) : arséniate et sulfate hydraté de fer et de plomb du Laurium, Grèce.

Étude. — Sur échantillons-types : il s'agit d'un mélange de *scorodite* et de *beudantite* comme l'avait déjà supposé A. LACROIX (*B. Soc. fr. Min.*, 38, p. 35, 1915).

F. P.

« **MELANCHLOR** »

B. MASON. — Les minéraux des pegmatites de Varuträsk : XXIII — Quelques phosphates de fer et de manganèse et leurs produits d'altération. — *Geol. Förr. Förrh.*, 63, p. 117-175, 1941.

Étym. — *Melanchlor* : FUCHS (*J. pr. chem.*, 17, p. 160, 1939).

Étude. — C'est en réalité un mélange complexe de *sicklerite*, d'*hétérosite* et d'autres minéraux.

F. P.

« **MORESNETITE** »

C. S. ROSS. — Sauconite, a clay mineral of the montmorillonite group. — *Am. Min.*, 31, p. 411-424, 1946.

Étym. — *Moresnetite* : H. RISSE (1863) : minéral argileux zincifère d'Altenberg, près Aachen.

Étude. — Sur échantillon de la localité type : il s'agit d'un mélange de *sauconite* et d'*hémimorphite*, ce qui est confirmé par l'interprétation de l'analyse originale de RISSE.

F. P.

« PYROGUANITE »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the calcium phosphate in insular phosphate rock. — *Am. Min.*, 28, p. 226, 1943.

Étym. — *Pyroguanite* : SHEPARD (*Am. J. Sc.*, 22, p. 96, 1856) : guano supposé refondu sur une venue éruptive, de l'île de Los Monges, mer des Caraïbes.

Étude. — Il s'agit en réalité de la roche phosphatée ordinaire du gisement et non d'un minéral.

F. P.

« RANDITE »

C. FRONDEL. — Studies of uranium minerals : parsonsite and randite. — *Am. Min.*, 35, p. 245-250, 1950.

Étym. — *Randite* : KOENIG (*Proc. Ac. Nat. Sc., Philadelphie*, 30, p. 408, 1878) : carbonate hydraté de Ca et U supposé, de la Barber's Quarry, Frankford près Philadelphie, USA.

Étude. — Il s'agit en réalité d'un mélange complexe de calcite, de kaolin, de *béta-uranotile*, en petits cristaux aciculaires et de *tyuyamunite* en croûtes minces.

F. P.

« RICHMONDITE »

C. O. HUTTON. — Richmondite, a discredited mineral. — *Nature*, 159, p. 817, 1947.

Étym. — *Richmondite* : Skey (*New Zealand Inst. Trans.*, 9, p. 556, 1877) : sulfo-antimoniure de Pb, Cu et Fe avec un peu d'Ag et Zn, de Richmond Hill, Nouvelle-Zélande.

Étude. — Sur sections polies, la substance, correspondant à la description de Skey, apparaît formée de *panabase argentifère*, de *galène*, de *blende*, de *chalcopyrite*, de *pyrite* et peut-être de *stromeyerite*.

Obs. — Ne pas confondre avec la *richmondite* de KENNGOTT (1866) : phosphate d'alumine, $\text{PO}_4\text{Al}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, dont la validité est d'ailleurs très douteuse.

F. P.

« SODA-HÉTÉROSITE » ou « NA-HÉTÉROSITE »

« SODA-PURPURITE » ou « NA-PURPURITE »

B. MASON. — Les minéraux des pegmatites de Varuträsk
XXIII — Quelques phosphates de fer et de manganèse et
leurs produits d'altération. — *Geol. För. Förh.*, 63, p. 117-
175, 1941.

Étym. — Soda-hétérosite (ou Na-hétérosite) : QUENSEL
(*Geol. För. Förh.*, 59, p. 77, 1937) : produit d'altération de
l'arrojadite. Soda-purpurite (ou Na-purpurite) QUENSEL
(*ibid.*) : produit d'altération de la varulite.

Étude. — Sur échantillons-types, aux rayons X : ce sont
des mélanges d'alluaudite et de purpurite ou d'hétérosite.

F. P.

« SOMBRERITE »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the calcium phosphate in
insular phosphate rock. — *Am. Min.*, 28, p. 227, 1943.

Étym. — Sombrierite : PHIPSON (*J. Chem. Soc. London*,
15, p. 277, 1862) : phosphate de l'île Sombrero.

Étude. — Il n'est pas douteux que le nom de sombrierite ne
correspond à aucune espèce minérale définie mais seulement
à la roche phosphatée prise en masse. Les échantillons que
l'auteur a pu examiner sont formés d'apatite.

F. P.

« TALLINGITE »

1. C. FRONDEL. — On paratacamite and some related cop-
per chlorides. — *Min. Mag.*, 29, p. 34-45, 1950.

2. F. A. BANNISTER, M. H. HEY et G. F. CLARINGBULL. —
Connellite, buttgenbachite and tallingite. — *Min. Mag.*, 29,
p. 280-286, 1950.

Étym. — Tallingite : A. H. CHURCH (*J. Chem. Soc. Lon-
don*, 18, p. 77-83, et 212-214, 1865) : chlorure hydraté de
cuivre de la mine Botallack, Saint-Just, Cornouailles.

Étude. — Aux rayons X, sur échantillons-types : il s'agit d'un mélange de *connellite* et de *paratacamite*.

F. P.

« **VANDIESTITE** » ou « **VON DIESTITE** »

C. FRONDEL. — *Am. J. Sc.*, 238, p. 880-888, 1940.

Étym. — *Vandiestite* : PEARCE (*Bull. Colorado Sc. Soc.*, 6, p. 4, 1898, et *Proc. Color. Sc. Soc.*, 6, p. 163, 1902). *Von diestite* : CUMENGE (*B. S. fr. Min.*, 22, p. 25, 1899) : tellurure d'Ag et Bi des mines Little Gerald et Hamilton, Sierra Blanca, Colorado.

Étude. — Il s'agit d'un mélange de *tellurobismuthite* et de *hessite*.

F. P.

« **VANUXEMITE** »

C. S. ROSS. — *Sauconite*, a clay mineral of the montmorillonite group. — *Am. Min.*, 31, p. 411-424, 1946.

Étym. — *Vanuxemite* : C. U. SHEPARD (*Am. J. Sc.*, 12, p. 231, 1876) : argile zincifère de Sterling Hill, New Jersey, U. S. A.

Étude. — Sur échantillon-type : le spectre de poudres et la courbe d'analyse thermique ne sont pas ceux de la saconite. Au microscope, la substance apparaît formée de deux ou même plusieurs composants qui n'ont pas été identifiés.

F. P.

« **WARTHAITE** »

R. M. THOMPSON. — *Goongarrite* and *warthaite* discredited. — *Am. Min.*, 34, p. 459, 1949.

Étym. — *Warthaite* : KRENNER (*Ért. Mat. Termés*, 42, p. 4, 1926) : sulfure de Pb et Bi de Vaskö, Roumanie.

Étude. — Le spectre de poudres des agrégats fibroradiés est identique à celui de la « goongarrite » qui est un mélange de *cosalite* et de *galène* ; celui des fibres isolées est identique à celui de la *cosalite*.

F. P.

« **WEHRLITE** » ou « **PILSENITE** » ou « **BORZSONYITE** »

K. SZTOKAY. — Ueber den Wehrlit (Pilsenit). — *Ann. Hist. Nat. Mus. Nation. Hungarici*, 39, p. 75-103, 1946.

Étym. — *Wehrlite* : J. J. HUOT (*Man. Min., Paris*, 1. p. 188, 1841); *pilsenite* : G. A. KENNGOTT (1853) : *börzsönyite* : PAPP (*Földt. Közl.*, 62, p. 61, 1933) : tellurure de Bi de Börzsöny (= Deutsch Pilsen), Hongrie.

Étude. — Sur échantillons de la localité-type : ils sont formés d'un cœur de *tellurobismutite* entouré par des zones d'altération successives de *tétradymite*, du composé Bi_2TeS_2 isomorphe de la *tétradymite*, et de *bismuthinite*.

F. P.

ESPÈCES MINÉRALES DONT LA VALIDITÉ EST MISE EN DOUTE

A côté des *espèces minérales discréditées*, on doit placer une liste d'espèces dont la validité est mise en doute par des études récentes. En général, ces études ont été faites sur des échantillons considérés comme représentant bien les espèces en question, mais non sur les échantillons-types qui ont servi à les définir. Par suite, on ne peut encore rejeter définitivement les noms qui les désignent. Mais en revanche, ces noms ne devraient plus être utilisés sans une étude préalable établissant la validité de l'espèce.

Ce complément à la rubrique des *espèces minérales discréditées* sera présenté sous le titre : *espèces minérales douteuses*. On remarquera qu'il est parfois difficile de savoir sous lequel de ces deux titres on doit ranger tel ou tel nom : dans ce choix intervient un facteur personnel qu'il est impossible d'éliminer complètement.

F. P.

« ALASKAITE »

R. M. THOMPSON. — The probable non-existence of alaskaite. — *Min. Mag.*, 35, p. 456, 1950.

Étym. — *Alaskaite* : KOENIG (*Am. Phil. Soc.*, 19, p. 472, 1881) : sulfure complexe mal défini : $\text{PbS}(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$ (?), de Poughkeepsie Gulch, Silverton, Colorado.

Étude. — En sections polies et aux rayons X, sur 3 échantillons de la localité-type et 2 de Bolivie ; ce sont des mélanges intimes de *matildite*, *aikinite*, *benjaminite*, *panabase*, *bismuthinite* et *franckeite*, avec *chalcopyrite*, *blende*, *pyrite* et *galène*.

Obs. — L'auteur conclut : « le nom d'alaskaite est à rejeter,

à moins que d'autres échantillons de la localité-type ne permettent d'établir avec certitude la validité de l'espèce ».

F. P.

« BELYANKITE »

M. FLEISCHER. — Probable identity of belyankite with *creedite*. — *Am. Min.*, 37, p. 785-790, 1952.

Étym. — *Belyankite* (M. D. DORFMAN, 1950) (*Cf. B. S. fr. Min. Crist.*, 75, p. 311, 1952).

Étude. — Les propriétés optiques, le spectre de poudres, les formes cristallines et la courbe d'analyse thermique de la belyankite sont si voisins de ceux de la *creedite* (LARSEN et WELLS, 1916), que l'identité des deux minéraux est presque certaine. Dans ces conditions, il est probable que l'analyse de la belyankite, qui ne comporte pas de SO_3 , est erronée ; cependant, seule une nouvelle analyse du matériel-type pourra trancher cette question. Les données du spectre de poudres et de l'analyse thermique de la *creedite* sont publiées pour la première fois.

F. P.

« BOKSPUTITE »

E. W. HEINRICH. — Re-examination of bokspütite. — *Am. Min.*, 32, p. 365-366, 1947.

Étym. — *Bokspütite* : E. D. MOUNTAIN (*Min. Mag.*, 24, p. 59-64, 1935) : carbonate de Pb et Bi de Bokspüt, Gordonia, Afrique du Sud.

Étude. — Au microscope et aux rayons X : il s'agit d'un mélange de *bismutite*, de *massicot* et d'un minéral non identifié.

Obs. — Cette conclusion est adoptée dans le *Dana's system of Mineralogy* (7 th. ed., t. 2, p. 261, 1951). Par contre M. H. HEY (*Index Min. Species*, p. 75, 1950) considère que cette étude n'explique pas suffisamment la composition chimique et que, par suite, elle ne suffit pas à faire rejeter définitivement l'espèce.

F. P.

« COERULEOLACTITE »

D. Mc. CONNEL. — X-ray data on several phosphate minerals. — *Am. J. Sc.*, 240, p. 649-657, 1942.

Étym. — *Coeruleolactite* : PETERSEN (*Jb. Min.*, p. 353, 1871) : phosphate basique hydraté d'Al, de la mine Rindsberg, près Katzenelenbogen, Nassau, Allemagne.

Étude. — La coeruleolactite d'East Whiteland, Chester County, Pennsylvanie, U. S. A. est en réalité de la *turquoise*.

Obs. — L'étude n'ayant pas porté sur les échantillons-types l'espèce ne peut encore être rejetée. C'est ainsi qu'elle est cataloguée dans le *Dana's Syst. Min.* (2, p. 961, 1951). Par contre elle est considérée, sur la base de cette étude, comme identique à la turquoise dans l'*Index Min. Species* (M. H. HEY, p. 354, 1950).

F. P.

« ÉPIGLAUBITE »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the calcium phosphates in insular phosphate rock. — *Am. Min.*, 28, p. 220, 1948.

Étym. — *Épiglaubite* : SHEPARD (*Am. J. Sc.*, 22, p. 96, 1856) : phosphate hydraté de Ca, contenant probablement Na et Mg.

Étude. — Un échantillon d'épiglaubite de l'île Los Monges s'est révélé être de la dolomie finement grenue !

Obs. — Les échantillons-types n'ont pu être examinés. La description originale de SHEPARD est nettement insuffisante. L'épiglaubite est identifiée, avec doute, à la brushite dans le *Dana's Syst. Min.* (2, p. 704, 1951).

F. P.

« GLAUBAPATITE »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the calcium phosphates in insular phosphate rock. — *Am. Min.*, 20, p. 221, 1948.

Étym. — *Glaubapatite* : SHEPARD (*Am. J. Sc.*, 22, p. 96, 1856) : sulfate et phosphate de Na et Ca, de l'île Los Monges, Venezuela.

Étude. — Sur un échantillon correspondant à la description originale : il s'agit de *monetite* botryoïdale mêlée de *whitlockite*, recouvrant une masse zonée d'*apatite* et de *calcite*.

Obs. — L'auteur n'a pu se procurer les échantillons-types.

F. P.

« **HYDROBISMUTITE** »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the oxydes and carbonates of bismuth. — *Am. Min.*, 28, p. 531, 1943.

Étym. — *Hydrobismutite* : NENADKEVICH (*Bull. Ac. Sc. Petrograd*, 11, p. 448-454, 1917) : carbonate hydraté de Bi : $\text{Bi}_2\text{CO}_5 \cdot 2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (?) du Mont Schorl, Transbaïkalie.

Étude. — L'auteur n'a pu se procurer d'échantillon-type, il écrit : « Il est pratiquement certain que cette substance est simplement de la *bismutite* contenant une quantité relativement grande d'eau non essentielle. »

F. P.

« **NORMANNITE** »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the oxydes and carbonates of bismuth. — *Am. Min.*, 28, p. 531, 1943.

Étym. — *Normannite* : WEISBACH (1877) : carbonate de Bi de Neustädtel, près Schneeberg, Saxe.

Étude. — C'est probablement de la bismutite comme l'a déjà fait remarquer SCHAIRER (*Am. Min.*, 15, p. 203, 1930).

F. P.

« **RHAGITE** »

C. FRONDEL. — New data on agricolite, bismoclite, koechlinite and the bismuth arsenates. — *Am. Min.*, 28, p. 538, 1943.

Étym. — *Rhagite* : WEISBACH (*Jb. Min.*, p. 302 et 870, 1874) : arséniate hydraté de Bi, de la mine Weisser Hirsch, Neustädt, Schneeberg, Saxe.

Étude. — Comparaison de plusieurs échantillons d'*atelestite* et de *rhagite* de la localité-type : ils sont identiques.

Atelestite (BREITHAUP, 1832) a priorité. Cependant l'étude n'a pas porté sur les échantillons-types de *rhagite*.

F. P.

« RUTHERFORDINE »

J. AXELROD, F. GRIMALDI, C. MILTON et K. J. MURATA. — Uranium minerals from the Hillside mine, Yavapai County, Arizona. — *Am. Min.*, 36, p. 20, 1951.

Étym. — *Rutherfordine* : W. MARCKWALD (*Cb. Min. Geol. Pal.*, 24, p. 761-763, 1906) carbonate d'uranium : $\text{UO}_2\cdot\text{CO}_3$, des pegmatites des monts Uruguru, Tanganyika.

Étude. — Un échantillon de la localité-type donne un spectre de poudre identique à celui d'un silicate d'U et Ca, du Mitchell Co, N.C., qui représente peut-être une nouvelle espèce. La rutherfordine n'est donc probablement pas un carbonate.

F. P.

« SALVADORITE »

S. G. GORDON. — The identity of salvadorite with kroehn-kite. — *Not. Nat. Ac. Sc. Philadelphia*, n° 72, 1941.

Étym. — *Salvadorite* : HERZ (*Zeits. Krist.*, 26, p. 16-18, 1896) : sulfate hydraté de Fe et Cu, de la mine Salvador, Quetena, Chili.

Étude. — Des échantillons de la localité-type ont mêmes propriétés physiques et cristallographiques que la kroehn-kite et ils contiennent 16 % Na_2O : c'est de la *kroehn-kite*. Mais les échantillons-types n'ont pas été étudiés.

F. P.

« SEELANDITE »

H. MEIXNER. — Was ist Seelandit? — *Ann. Nat. Museum Wien*, 50, p. 690-693, 1939.

Étym. — *Seelandite* : BRUNLECHNER (*Jb. Nat. Land. — Mus. Klagenfurt*, 22, p. 192, 1893) : sulfate hydraté de Mg et Al, avec 4,1 % MgO et 10,5 % Al_2O_3 .

Étude. — Des échantillons que l'auteur croit provenir du

gisement-type, se sont révélés être de l'*epsomite*. L'analyse originale est probablement erronée, une bonne partie de Mg aurait été prise pour de l'Al.

F. P.

« SPADAÏTE »

I. I. GUINSBOURG et I. A. ROUKAVICHNIKOVA. — Béta-cérolite : $3\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. — *Mém. Soc. russe Min.*, 79, p. 33-44, 1950.

Les auteurs, se basant sur une étude de A. E. FERSMAN (*Bull. Ac. Sc.*, t. 32, sér. 8, n° 2, 1913), pensent que la *spadaïte* (KOBELL, 1843) est identique à la *béta-cérolite* (*n. sp.*, voir ci-dessus).

F. P.

« SPHAERITE »

R. M. PEARL. — New data on lossenite, louderbackite, zepharovichite, peganite and sphaerite. — *Am. Min.*, 35, p. 1054-1059, 1950.

Étym. — *Sphaerite* : ZEPHAROVICH (*Sitzber. Ak. Wien*, 56, p. 24, 1867) : phosphate hydraté d'alumine, de Zajecow, Saint-Benigna, Bohême.

Étude. — Les propriétés optiques et les spectres de poudres de la sphaerite de Cerhovic et de Třenice, Bohême, sont identiques à ceux de la variscite. Mais l'analyse originale, donnée par V. R. ZEPHAROVICH, diffère beaucoup de celle de la variscite et il est possible que les échantillons-types soient des mélanges hétérogènes.

F. P.

« STOFFERTITE »

C. FRONDEL. — Mineralogy of the calcium phosphates in insular phosphate rock. — *Am. Min.*, 28, p. 227, 1948.

Étym. — *Stoffertite* : KLEIN (*Sitzber. Ak. Wiss. Berlin*, p. 720, 1901) : phosphate hydraté de Ca, de l'île de Mona, Antilles.

Étude. — DE SCHULTEN (1903) et BASSETT (*J. Chem. Soc. London*, 111, p. 620, 1917) n'ont pas reconnu, dans le sys-

tème : $\text{Ca HPO}_4\text{-H}_2\text{O}$, l'existence d'autre hydrate que : $\text{CaHPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (*brushite*). La stoffertite ne différerait de la *brushite* que par une teneur en eau un peu plus forte ($2,75 \text{ H}_2\text{O}$). L'auteur n'a pu se procurer les échantillons-types, mais il y a tout lieu de croire que la stoffertite est identique à la *brushite*.

F. P.

« TAYLORITE »

C. FRONDEL. — Notes on arcanite, ammonian apthitalite and oxammite. — *Am. Min.*, 35, p. 596-598, 1950.

Étym. — *Taylorite* : DANA (*Syst. Min.*, 5 th. ed., p. 614, 1868) : sulfate de potassium et d'ammonium, des gîtes de guano des Iles Chincha, au large du Pérou, décrit très brièvement par W. J. TAYLOR (*Proc. Ac. Nat. Sc. Philadelphia*, p. 309, 1859) sous le nom de *glascerite*.

Étude. — Il semble qu'il n'existe plus d'échantillons-types, le seul que l'auteur ait pu se procurer était de la calcite fibreuse. Des échantillons provenant des îles Guañape, Pérou, donnent le spectre de poudres de l'apthitalite et une analyse conduit à la formule : $(\text{K}, \text{NH}_4)_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ avec $\text{K} : \text{NH}_4 = 3,3 : 1$: c'est une variété d'apthitalite contenant de l'ammonium.

F. P.

« ULTRABASITE »

C. PALACHE. — Cristallographic notes : cahnite, stolzite, zincite, ultrabasite. — *Am. Min.*, 25, p. 435-436, 1941.

Étym. — *Ultrabasite* : ROSICKÝ, et ŠTERŤBA-BÖHM (*Zeits. Krist.*, 53, p. 430, 1920) : minéral orthorhombique de composition : $\text{Pb}_{29}\text{Ag}_{22}\text{Sb}_4\text{Ge}_3\text{S}_{53}$, de la mine Himmelsfürst, Freiberg, Saxe.

Étude. — Les formes cristallographiques et les propriétés physiques sont identiques à celles de la *diaphorite*. Une étude spectrographique sur un échantillon de la localité-type, donné par ROSICKÝ, n'a pas décelé Ge. L'auteur en conclut que l'analyse chimique originale n'a pas dû être effectuée sur

la même substance que l'étude des caractères organoleptiques ; celle-ci était peut-être hétérogène et l'existence de l'espèce est douteuse.

F. P.

« VILATÉITE »

C. PALACHE, H. BERMAN et C. FRONDEL. — Dana's system of mineralogy, 7 th. ed., t. 2, p. 769-771, 1951.

Étym. — *Vilatéite* : A. LACROIX (*Min. France*, t. 4, p. 477-479, 1910).

Étude. — Ses formes sont voisines de celles de métastrengite. Elle appartiendrait à la série isomorphe : métavariscite-métastrengite, avec substitution partielle de Mn à Fe. Ce serait une variété manganésifère de métastrengite. Malheureusement il n'existe pas d'analyse chimique.

Obs. — L'étude de la vilatéite devrait être complétée, comme le suggérait déjà A. LACROIX.

F. P.

BIBLIOGRAPHIE

Leçons sur la structure atomique des cristaux, J. GARRIDO, Sociedade Geologica de Portugal, Porto, 1951, 1 vol., 148 pages, 66 figures, 170 × 245.

Le livre de M. Garrido est un des rares manuels de cristallographie écrit en français, consacrant quelques chapitres à l'étude de la détermination des structures cristallines au moyen des séries de Fourier. C'est un recueil des principales leçons enseignées par l'auteur en 1950 à la Faculté des Sciences de Lisbonne.

Dans les premiers chapitres I et II le lecteur trouvera les notions de cristallographie géométrique indispensables à la bonne compréhension de la suite et le rappel des phénomènes de diffraction des rayons X et de leurs analogies avec la diffraction de la lumière. L'auteur en insistant particulièrement sur ces analogies a fait de son manuel un livre d'étude d'un intérêt pédagogique certain. La comparaison de chaque phénomène de diffraction en rayonnement X avec son homologue en lumière naturelle sera un guide précieux pour l'étudiant.

Les chapitres III et IV sont consacrés à l'étude mathématique de l'espace réciproque et de l'espace de Patterson.

Le texte est illustré de 66 figures parmi lesquelles quelques images très expressives.

Notons toutefois, que le développement mathématique aurait parfois gagné à être plus explicite, par exemple page 95 : la somme

$$L(X Y Z) = \sum_0^m \sum_0^n \sum_0^p \exp 2 \pi i (m X + n Y + p Z)$$

est bien égale à :

$$L(X Y Z) = \frac{\sin \pi m X}{\sin \pi X} \cdot \frac{\sin \pi n Y}{\sin \pi Y} \cdot \frac{\sin \pi p Z}{\sin \pi Z}$$

si on ne considère que le module.

Il aurait été préférable de faire apparaître le facteur $\exp. \pi ni X$ qui intervient dans le cas général et de faire remarquer ensuite que ce facteur ne change rien au module de $L(X Y Z)$.

Il n'en reste pas moins que ce manuel rendra service aux étudiants qui commencent à travailler sur la détermination des struc-

tures cristallines et profitera à tous les physiciens et chimistes qui s'intéressent à ces questions.

A.-J. ROSE.

*
* *

Elements of ceramics, par F. H. NORTON, éditeur : Addison-Wesley Press, Cambridge, U. S. A., 1952, 1 vol., 246 pages, 194 figures, 76 tableaux, 190 × 250, prix : \$ 6.50.

Le livre de Norton est une introduction à l'étude de la céramique et donne au lecteur une vue d'ensemble des méthodes actuelles utilisées dans l'industrie des silicates, en particulier, sur tout ce qui concerne la silice, les argiles, les feldspaths, les verres et les ciments.

Il donne dans chaque chapitre beaucoup d'informations tant sur les propriétés physiques et chimiques de ces constituants, que sur leur structure cristalline et leur utilisation dans les fabrications.

Tout ce manuel est largement illustré de schémas très clairs.

Une introduction historique dépeint le développement de cette industrie aux U. S. A.

Les chapitres 1, 2, et 3 traitent des minéraux argileux, de leurs propriétés cristallines, physiques et chimiques ; les chapitres 4, 5, et 6, de la silice, du quartz et de ses autres formes cristallines, des feldspaths et autres minéraux de remplacement, de la magnésie, calcite, dolomite, chromite, etc... et donnent des renseignements pratiques sur les principaux gisements surtout américains, sur la production et les prix.

Dans le chapitre 7 on trouvera ce qui concerne plus spécialement les mines et le matériel de traitement des matières premières, concassage, tamisage, mise en barbotine, etc...

Les chapitres 8 et 9 traitent de la plasticité des pâtes, des systèmes argile-air-eau, des systèmes contenant d'autres minéraux non argileux, des substances colloïdales.

Les méthodes de fabrication sont développées dans les chapitres 11, 12 et 16, entre lesquels on trouve, une étude thermochimique des réactions : application de la règle des phases, détermination des vitesses de réactions, diagrammes d'équilibre, étude de réactions à l'état solide, études thermiques.

Les derniers chapitres ont trait aux ciments et aux verres, (composition, propriétés), et aux émaux, (mécanisme de la fusion et méthodes de préparation, méthodes de coloration et procédés de décoration).

L'ensemble se termine par un index alphabétique très complet. Cet ouvrage intéressera ceux qui désirent avoir rapidement une

vue d'ensemble sur la question ; les nombreux schémas très expressifs et très soignés de l'auteur ont l'avantage de remplacer un long texte et de rendre très agréable la lecture de ce livre.

A. JOURDAIN.

*
**

Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, W. E. TRÖGER, éditeur : Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1952, 1 vol., 147 pages, 17 tableaux, 95 diagrammes, 256 figures, 160 × 250, prix : 2.000 fr.

Il est à peine nécessaire de recommander aux lecteurs de ce bulletin le nouveau livre de W. E. Tröger. La rapidité avec laquelle il s'est répandu en France est la meilleure preuve de ses qualités.

Comme le souligne l'auteur lui-même il présente par rapport aux ouvrages similaires déjà existants trois innovations principales :

Images des cristaux, diagrammes de variations, nomogrammes.

Pour résumer les propriétés optiques d'un minéral, le moyen le plus démonstratif est incontestablement la représentation du cristal en perspective. Les figures, d'un dessin très suggestif, indiquent outre les faces les plus importantes :

Les axes de l'ellipsoïde des indices (avec la couleur suivant ces axes pour les minerais polychroïques), les axes optiques, les clivages. Elles sont accompagnées :

a) Pour les minéraux monocliniques, par une section parallèle au plan de symétrie.

b) Pour les minéraux tricliniques, par un stéréogramme.

Les diagrammes de variations donnent les rapports entre la composition chimique et les propriétés optiques des minéraux isomorphes.

Grâce aux nomogrammes on sera en mesure de résoudre graphiquement des problèmes relatifs aux indices de réfraction, à la biréfringence, à l'angle $2V$, etc.

Des tableaux bien conçus réunissent les propriétés spécifiques de 244 minéraux.

Ces quelques lignes ne résument que très sommairement la foule de renseignements consignés dans l'ouvrage.

On peut dire sans exagérer que le pétrographe qui se procure le livre de M. Tröger, change dans une certaine mesure sa façon de travailler. Il aura à sa disposition immédiate des données qui nécessitaient, avant cette acquisition, des recherches fastidieuses dans les divers documents et il sera moins tenté de les négliger, le cas échéant.

F. KRAUT.

*
**

Imperfections in nearly perfect crystals, W. SHOCKLEY, J. H. HOLLOMON, R. MAURER et F. SEITZ, éditeur : John Wiley, New-York, 1952, 1 vol., 490 pages, 173 figures, 145×215 , prix : \$ 7,50.

Ce volume est un compte rendu d'un symposium tenu aux U. S. A. en octobre 1950. Il est constitué par la réunion de 17 articles d'auteurs différents groupés sous quatre rubriques. Voici les titres :

I. — Nature des imperfections dans des cristaux presque parfaits.

1. — Article de synthèse sur les imperfections : F. Seitz.
2. — Géométrie des dislocations : W. T. Read, jr. et W. Shockley.

II. — Rôle des imperfections dans la déformation.

3. — Imperfections provenant des transformations et déformations : C. S. Barrett.
4. — Étude expérimentale des lignes de glissement : W. T. Read, jr.
5. — Diffraction des rayons X par les métaux écrouis : B. E. Warren et B. L. Averbach.
6. — Résistance mécanique des métaux et fluage : N. F. Mott.
7. — Influence des dislocations et des impuretés sur les constantes élastiques des monocristaux métalliques : J. S. Koehler.

III. — Diffusion et phénomènes connexes.

8. — Effets de relaxation dans les cristaux ioniques : R. G. Breckenridge.
9. — Étude des halogénures alcalins par les méthodes photoélectriques : L. Apker et E. Taft.
10. — La diffusion dans les alliages et l'effet Kirkendall : J. Bardeen et C. Herring.
11. — Théorie de la diffusion : Clarence Zener.

IV. — Sur les propriétés et les effets des surfaces internes et externes des cristaux.

12. — Tensions superficielles et interfaciales dans les solides à une seule phase : J. C. Fisher et C. G. Dunn.
13. — Modèles de dislocation pour les limites de grains : W. T. Read, jr. et W. Shockley.
14. — Interfaces entre phases : Cyril Stanley Smith.
15. — Substructures dans les cristaux : A. Guinier.
16. — Les propriétés et les effets dans les limites de grains : Bruce Chalmers.

17. — Phénomènes de mouvements et de diffusion aux limites de grains : R. R. Smoluchowski.

La structure même du livre crée un morcellement et parfois des répétitions qu'on ne trouverait pas dans un ouvrage ordinaire. Par contre on y trouve plus d'idées originales exposées par leurs auteurs, tous des spécialistes. La place nous manque pour analyser en détail chaque article. Nous ferons seulement mention de l'article de tête, écrit par F. Seitz. L'auteur tente une synthèse englobant les types les plus divers d'imperfections : phonons (agitation thermique), électrons et trous, excitons, positions vacantes et atomes interstitiels, atomes étrangers en insertion et en substitution, dislocations. Il étudie successivement toutes les interactions entre ces 6 types d'interactions expliquant ainsi bon nombre de faits expérimentaux.

La lecture de ce livre est recommandable à tout physicien ou cristallographe qui veut se familiariser avec ce sujet d'actualité. Il n'y trouvera pas la solution définitive et parfaitement satisfaisante à tous les problèmes (notamment la question de l'origine des dislocations et de leur multiplication). Mais il y puisera un très grand nombre de faits bien établis et d'idées originales et intéressantes émises par des auteurs qui sont tous des physiciens et des cristallographes de premier plan.

H. CURIEN.

*
* *

Principles of geochemistry, B. MASON, éditeur : John Wiley, New-York, 1952, 1 vol., 276 pages, 42 figures, 150 × 225, prix : 2.250 fr.

Dans ce livre l'auteur cherche à donner une explication physico-chimique des principaux faits géologiques. Cet ouvrage n'est pas un traité mais plutôt une suite de conférences, chacune cherchant à dégager une idée générale de l'ensemble des petits faits qui forment encore une grande partie de la géochimie.

Les trois premiers chapitres, assez classiques, traitent de : La Terre en relation avec l'Univers, structure et composition de la Terre. L'auteur expose d'une manière très claire les problèmes soulevés par les météorites, et discute en quelques pages la valeur des statistiques sur la composition chimique de l'écorce terrestre.

Dans le quatrième chapitre, sont exposés rapidement les lois de la thermodynamique et les principes de la cristallochimie, ainsi que les rapports de cette science avec la géologie. On peut signaler p. 17, un très bon exposé sur les solutions solides.

Le chapitre 5 traite du magmatisme et des roches ignées ; l'auteur est magmatiste ; un paragraphe assez court résume clairement les cycles géochimiques des différents éléments rares.

Dans le sixième chapitre, l'auteur définit les lois de la sédimentation et la genèse des roches sédimentaires, ce chapitre est très intéressant et remarquablement traité. Il paraîtra bien court au chercheur qui aurait voulu cependant y trouver plus de détails. L'auteur expose avec une grande clarté le rôle du potentiel d'ionisation des éléments sur l'ordre de leur dépôt. Le problème des argiles est traité simplement.

Après des chapitres portant sur l'hydrosphère, la biosphère et le métamorphisme, le livre se termine sur une vue condensée du cycle géochimique dans son ensemble.

Ce livre, qui est plus un ouvrage de haute vulgarisation scientifique qu'un traité, pose le problème de la géochimie et montre encore bien tout le travail qui reste à accomplir dans cette branche de la science. Il est certain que seule une collaboration étroite des sciences physiques pourra aboutir à une connaissance logique de notre Univers.

Les références bibliographiques sont accompagnées d'un court résumé, donnant les principales caractéristiques du travail cité ; cette pratique excellente devrait se généraliser.

Ce livre très intéressant et apportant des idées nouvelles, connaîtra certainement un grand succès, en particulier auprès des géologues.

C. GUILLEMIN.

Le secrétaire-gérant : A.-J. ROSE.

ANALYSE DILATOMÉTRIQUE ET THERMOGRAVIMÉTRIQUE DES HOUILLES

PAR M. PIERRE CHEVENARD,
Membre de l'Institut.

Sommaire. — Un dilatomètre à enregistrement graphique, dont le coefficient d'amplification peut être choisi à volonté entre des limites tendues, accroît la précision de l'essai conventionnel Audibert-Arnu qui sert à caractériser la fusion commençante des houilles et le seuil de la distillation. L'appareil permet, en outre, d'analyser la contraction déterminée par la cuisson des semi-cokes et de mesurer la variation de leur dilatabilité avec la température de carbonisation.

La pesée continue des houilles exposées à l'air à températures croissantes, caractérise avec sensibilité l'oxydation, la décomposition des produits oxydés et le départ des matières volatiles. Outre le phénomène global qui intéresse tout le volume des grains, la thermobalance recense un phénomène du même type, mais incomparablement plus rapide, qui se manifeste dès le début de l'oxydation, n'affecte probablement que la surface des grains et paraît jouer un rôle important dans l'échauffement spontané des houilles.

Une technique expérimentale prouvée féconde dans une branche de la science se révèle presque toujours fructueuse quand on la transpose à d'autres disciplines.

M. Portevin et moi l'avons rappelé dans un mémoire (P. Chevenard et A. Portevin, 1943) destiné au Livre jubilaire d'Alfred Lacroix. Ce travail montrait les lumières projetées par la dilatométrie, méthode d'analyse physicothermique fondamentale en métallographie, sur les transformations par chauffage du quartz, de la magnétite, de la pyrrhotine, de la cucite... Or, une récente étude dilatométrique et thermogravimétrique des houilles fournit de nouveaux états à la même mesure.

Peut-être les charbons paraîtront-ils s'apparenter d'un peu bien aux thèmes habituels des travaux exposés dans ce *Bulletin*. Les houilles font cependant partie des minéraux. Au

surplus, la Société française de Minéralogie, aux trois quarts centenaire, ne doit pas se borner à garder jalousement les traditions léguées par les grands minéralogistes qui l'ont illustrée. Elle peut aussi nourrir l'ambition d'étendre son domaine à toute connaissance acquise par les méthodes de la minéralogie et de la cristallographie, à toute application faisant intervenir l'architecture atomique des corps solides.

Il ne paraît pas chimérique de rêver entendre, en des séances organisées avec d'autres Sociétés scientifiques ou techniques, des métallographes, des céramistes, des verriers, des chimistes minéralistes ou organiciens, des électrochimistes, des mécaniciens même, nous parler d'alliages magnétiques obtenus à volonté anisotropes ou pseudo-isotropes; d'orientations cristallines provoquées, d'édifices atomiques construits pour ainsi dire sur commande, de matériaux plastiques aux chaînes macromoléculaires... Et quand, au terme de ce mémoire, on verra l'activité chimique des macromolécules brisées par le broyage, responsable de l'oxydation intense de la houille pulvérulente à la surface des grains, donc apparaître une cause probable de l'échauffement spontané, le choix d'un tel sujet apparaîtra sans doute justifié.

Il n'est d'ailleurs pas question de le traiter ici avec ampleur. Les lignes qui suivent ont surtout pour but de faire connaître quelques récents progrès de la dilatométrie et de la thermogravimétrie. Quant aux exemples cités, empruntés à l'étude des charbons, ils sont juste assez nombreux pour montrer la netteté des résultats fournis par ces méthodes et pour faire entrevoir la variété de leurs applications.

Avant tout, il convient de rendre hommage à ceux qui ont contribué à réaliser les appareils, à instituer les techniques, à récolter et élaborer les résultats, à dégager les conclusions et mettre au point les applications. Le concours de MM. E. Jourmier et L. Millereux (1952), J. Chéreau (1952), M. Cousin, P. Schuller, J. Perrier et J. Boyer a été particulièrement efficace; les discussions avec M. J. Pomey se sont révélées fécondes; il faut enfin remercier MM. Et. Audibert et A. Raineau des conseils et de l'appui trouvés auprès d'eux.

Centre d'études et de recherches des Charbonnages de France (C. E. R. Char).

I. — DILATOMÉTRIE DES HOUILLES.

Après les travaux de G. Charpy et J. Durand (1920) sur la fusion de la houille, la première application de la dilatométrie à l'analyse thermique des combustibles minéraux a été réalisée en 1926 à la Station d'essais du Comité des houillères, dirigé par M. Et. Audibert (1926, 1927).

L'appareil utilisé était des plus simples. Dépourvu d'amplificateur, il était trop peu sensible pour obéir à la dilatation thermique proprement dite de la houille, à plus forte raison pour en caractériser les singularités. Mais il offrait l'avantage de mettre en évidence deux phénomènes physicochimiques importants à connaître pour la conduite de la cokéfaction : la fusion commençante de la houille et le seuil de la distillation. C'est pourquoi l'essai Audibert-Delmas, codifié par M. Ch. Arnu (1933, *a, b*) après une étude approfondie de la technique opératoire, est devenu d'emploi courant dans les laboratoires des houillères et des cokeries.

Dès 1926, l'atelier annexé au laboratoire d'Imphy, invité à faciliter les recherches de M. J. Pomey sur la contraction qui accompagne la cuisson des semi-cokes, avait construit pour cet objet un dilatomètre dit « à sensibilité réglable ». L'appareil dérivé du dilatomètre différentiel imaginé pour l'étude physicothermique des alliages, pourvu comme lui d'un enregistreur photographique, était capable d'amplifications très différentes suivant l'axe des ordonnées : 10 à 150 fois.

Les plus faibles de ces coefficients convenaient à mesurer les expansions ou les contractions physicochimiques, dont l'ordre de grandeur est du dixième ; les plus grands servaient à évaluer la dilatation purement thermique, dont l'ordre est du millième pour un intervalle de 100 degrés. Utilisé selon la technique des cycles thermiques progressivement étendus, le dilatomètre à sensibilité réglable a fait découvrir un fait important : la dilatabilité d'un produit carbonisé est d'autant

moindre que le cycle antérieur a été poussé à plus haute température.

En présence de ces résultats, dont l'intérêt scientifique et pratique est hors de doute, il a été jugé opportun de simplifier et de perfectionner l'outillage dilatométrique applicable aux charbons, afin de faciliter les travaux de recherches d'expertises et de contrôle. Les efforts ont été poursuivis selon trois directions : automatisme, commodité d'emploi et qualités pratiques ; aptitude à des conditions expérimentales variables entre de larges limites ; convenance à différentes techniques d'investigation ou de contrôle, tels que l'essai type Audibert-Arnu, l'étude dilatométrique des semi-cokes, etc.

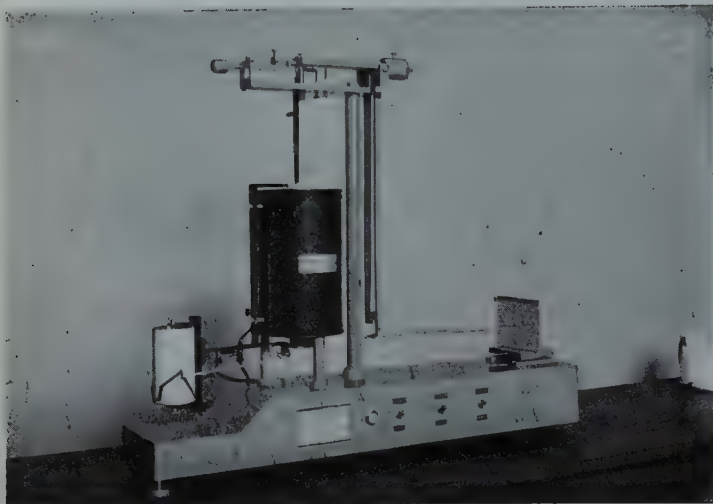
§ 1. — Dilatomètre non différentiel à enregistrement graphique.

a) *Mécanisme amplificateur.* Le trépied Tr (fig. 1 et 2) dont les trois pointes p_1, p_2, p_3 occupent les sommets d'un triangle rectangle, a pour rôle de composer en un diagramme les deux déviations rectangulaires $\Delta h, \Delta t$ communiquées à l'aiguille Ag.

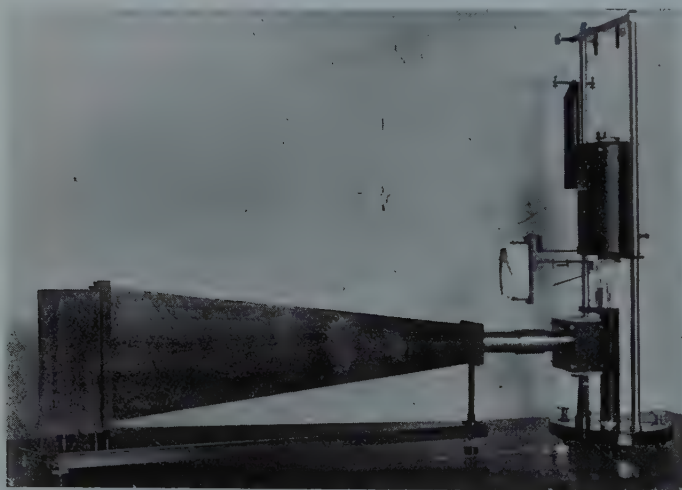
La première Δh est proportionnelle à la dilatation d'un crayon-éprouvette Eh, formé de houille pulvérisée puis comprimée après humidification. Enfermé dans un étui métallique surmonté d'un piston Ec, qui lui transmet une force verticale fixée par convention à 120 gr., ce crayon est disposé au fond d'un tube Tn, foré d'évents pour le dégagement des gaz. Ses changements de longueur sont transmis à la pointe p_3 du trépied par la tige t_n et le levier coudé L₂.

La deuxième coordonnée Δt est la dilatation d'un étalon pyrométrique Et, contenu dans le tube Ts. Elle aboutit, de même, à la pointe p_1 par l'intermédiaire de la tige t_s et du levier L₁. Les deux tubes T_n et T_s étant disposés côte à côte dans un four électrique à chauffe lente et régulière, la dilatation Δt repère, avec une bonne approximation, la température Θ du crayon-éprouvette.

Comme la pointe de l'angle droit p_2 est immobile, le mon



VUE N° 1. — Dilatomètre à enregistrement graphique pour l'étude des houilles.



VUE N° 2. — Thermobalance à enregistrement photographique.

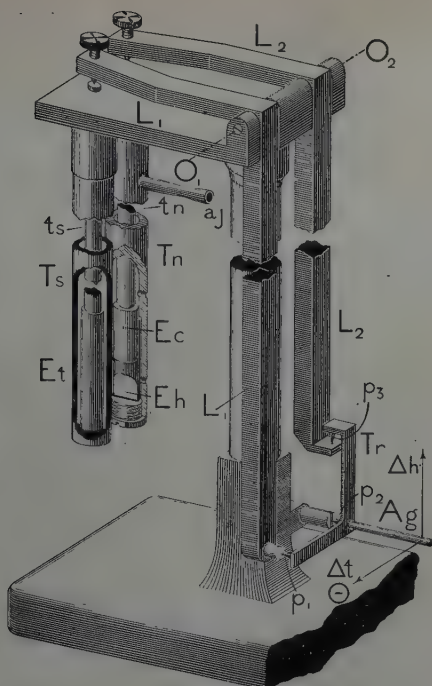


FIG. 1. — Schéma du dilatomètre à enregistrement mécanique pour l'étude des charbons crus ou carbonisés.

Transmission au trépied amplificateur Tr des deux coordonnées à composer en un diagramme : Δh dilatation du crayon de houille Eh ; Δt dilatation de l'étalon pyrométrique Et.

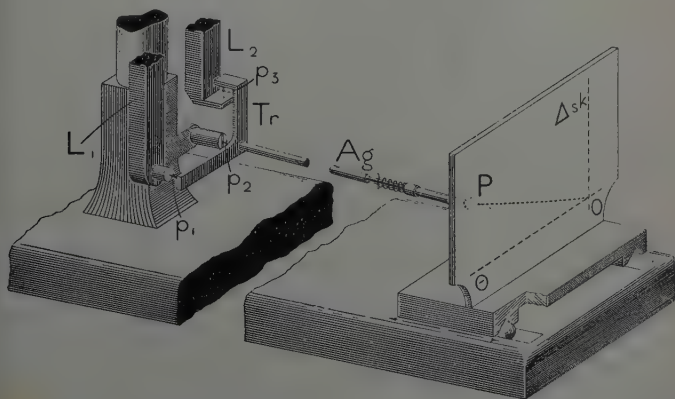


Fig. 2. — Enregistrement graphique de la courbe dilatation-température sur un tableau porte-diagramme animé d'un va-et-vient.

tage est non différentiel. La plume P fixée au bout de l'aiguille Ag décrit la courbe dilatation-température, qui se trouve reportée sur un tableau porte-diagramme animé d'un va-et-vient (fig. 2). Cet artifice résoud deux problèmes : la courbe, décrite sur une sphère de centre p_2 , est projetée orthogonalement sur un plan ; le contact intermittent plume-papier élague les effets du frottement. Le trait, formé de points distincts mais rapprochés, rivalise, pour la finesse, avec un tracé photographique.

b) *Matériaux des divers organes.* Le tube T_s et la tige t_s associés à l'étalon pyrométrique sont en silice fondue et les pièces essentielles de l'amplificateur sont en invar. Quant aux organes associés au crayon Eh, leurs matériaux diffèrent selon le type d'essai choisi.

Impose-t-on à la houille crue une chauffe continue, soit limitée à 450° comme dans l'essai type Audibert-Arnu, soit

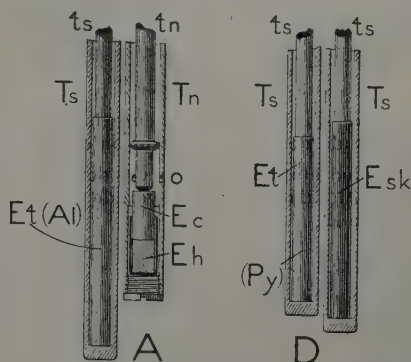


FIG. 3. — A — Crayon Eh de houille crue, pulvérisée et comprimée, enfermé dans un étui et contenu dans un étui de nicral T_n .
D — Baguette Esk de semi-coke contenu dans un tube de silice T_s .

poussée à 1.000° , comme dans l'essai préconisé par le Cerchar, le tube T_n , la tige t_n et le piston E_c sont en nicral, alliage inoxydable au nickel-chrome (fig. 3 A). Selon la température visée, l'étui est en aluminium ou en nicral. Si elle doit dépasser 450° , il est nécessaire de revêtir le crayon-éprouvette d'une mince feuille d'or (épaisseur 5μ), pour éviter toute

adhérence du produit carbonisé avec l'étui et le piston, donc pour prévenir toute brisure de la courbe enregistrée. De même, l'étalon pyrométrique Et, qui peut être en aluminium ou-dessous de 450°, doit être formé d'alliage pyros aux températures plus élevées.

Se propose-t-on, au contraire, d'analyser la contraction des semi-cokes et l'évolution de leur dilatabilité au cours de leur cuisson, le tube T_s contenant l'éprouvette Esk, la tige de transmission ts sont en silice fondue, et l'étui est supprimé (fig. 3 D).

c) *Dimensions du crayon-éprouvette. Protection chimique au cours de l'essai.* L'éprouvette de houille crue Eh, préparée comme le crayon normalisé Arnu, en a le diamètre (7 mm.) et supporte la même force (120 gr.), répartie sur la section droite par le piston Ec; mais elle est plus courte. Au lieu de 60 mm., sa longueur comprise entre 5 et 15 mm., est habituellement égale à 10 mm. Cet accourcissement offre plusieurs avantages, surtout pour les travaux de recherches. Le risque de flambement mécanique est élagué; l'uniformité de la température est facile à obtenir sans recours aux bains de sels; il est permis enfin d'opérer sur une faible quantité de poudre, soit qu'on procède à une expertise, soit qu'on étudie un constituant déterminé de la houille, isolé à grand'peine. En pareil cas, on peut même réduire la longueur à 2,5 mm.

Mais, il importe de le souligner, les manifestations dilatométriques des phénomènes physicochimiques, dont le crayon de houille est le siège au cours de l'essai, ne sont pas exactement proportionnelles à ses dimensions. Tel est, par exemple, le cas du gonflement consécutif à la fusion, car le moussage du charbon pâteux, soufflé par les gaz de distillation, dépend des facilités offertes à leur dégagement.

C'est pourquoi il importe de choisir des conditions expérimentales strictement déterminées, ce qui est grandement facilité par le quasi-automatisme du dilatomètre. Mais si, au cours d'un travail de recherches ou de contrôle, il est jugé opportun de modifier la longueur du crayon-éprouvette, on devra se rappeler qu'il ne suffit pas de changer propor-

tionnellement l'échelle de la courbe dilatométrique pour restituer la cohérence des résultats.

Dans le même ordre d'idées, il est nécessaire de s'opposer à l'oxydation de la houille crue au cours même de l'essai. Telle est le rôle de l'ajutage *aj* qui donne accès à un lent courant d'azote pur, à l'intérieur du tube *Tn* (fig. 1).

Quant à l'éprouvette de semi-coke *Esk* (fig. 3 D), obtenue par carbonisation préalable à 450° de houille pulvérisée et comprimée, elle mesure 60 mm. de longueur et 6 mm. de diamètre. Elle est enfermée, pour l'essai, dans un tube borgne en silice *Ts*, tout comme l'étalon de pyros *Et* auquel elle est associée.

d) *Réalisation de plusieurs sensibilités.* — *Essai à cycle thermique imposé. Essai isotherme.* Comme il a été dit, un dilatomètre à charbon, propre à l'étude des phénomènes physicothermiques comme à la mesure des dilatabilités, doit être

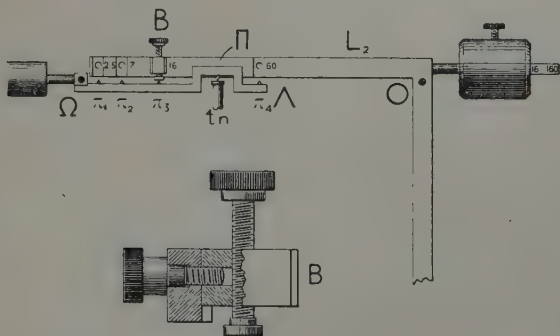


FIG. 4. — Dispositif à deux leviers Λ , L_2 pour réaliser quatre coefficients d'amplification, égaux respectivement à 2,5 ; 7 ; 16 et 60.

capable de sensibilités très différentes. Des instructions reçues du Cerchar ont fixé à 2,5 ; 7 ; 16 et 60 les coefficients d'amplifications désirables. Le problème a été résolu par l'intercalation d'un levier auxiliaire Λ , entre la tige *tn* qui transmet la dilatation du crayon-éprouvette et le levier coudé L_2 (fig. 4).

Le premier attaque le deuxième par l'une des quatre pointes

$\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$, pressée contre la butée B, qui peut occuper quatre positions distinctes sur le bras horizontal du levier L_2 . Selon que la position choisie est plus ou moins près de l'axe Ω , donc plus ou moins loin de l'axe O, l'amplification atteint l'une des quatre valeurs indiquées. Un contrepoids mobile sert à maintenir, dans tous les cas, à sa valeur conventionnelle, la force exercée sur le crayon-éprouvette par la pince tn . Ajoutons qu'il serait possible de faire varier cette force, au cas où on voudrait étudier le fluage isotherme de la houille à l'état pâteux.

Le four électrique à résistance est muni d'un régulateur à dilatable, qui force la température à suivre une loi de chauffe ou de refroidissement donnée : la courbe température-temps est matérialisée par un gabarit de carton porté par un tambour de chronographe.

Outre les diagrammes dilatation-température, dont les figures 5 et 6 fournissent des exemples, le dilatomètre peut également enregistrer des courbes allongement-temps à température constante. En pareil cas, le chariot porte-diagramme est pourvu d'un mécanisme qui fait dérouler un ruban de papier proportionnellement au temps (voir figure 7).

§ 2. — Quelques résultats fournis par la dilatométrie des houilles.

L'application la plus évidente du dilatomètre à charbons consiste à enregistrer les courbes type Audibert-Arnu. La figure 5 en groupe cinq spécimens obtenus avec une houille de Decazeville, qui tient en moyenne 9 % d'humidité, 10 % de cendres et 35 % de matières volatiles.

Ces courbes, décrites à la vitesse de 5 degrés/heure au-dessous de 300° et de 2 degrés/heure au delà, montrent les particularités bien connues. Au tronçon faiblement incliné qui traduit la dilatation thermique proprement dite, succède vers 375°, un affaissement causé par la fusion partielle de la houille : pressé par le piston, le cylindre-éprouvette devenu plastique s'étale à l'intérieur de l'étui. Puis, vers 400°, les

matières volatiles se dégagent, font mousser la houille pâteuse, et soulèvent le piston d'un mouvement rapide, souvent marqué de reculs. De tels rebroussements sont visibles dans les deux plus hautes courbes de la figure 5. Il est inutile de rappeler que l'amplitude de ces manifestations physicochimiques varie avec les dimensions du crayon, la pression qu'il supporte, la vitesse de chauffage, etc.

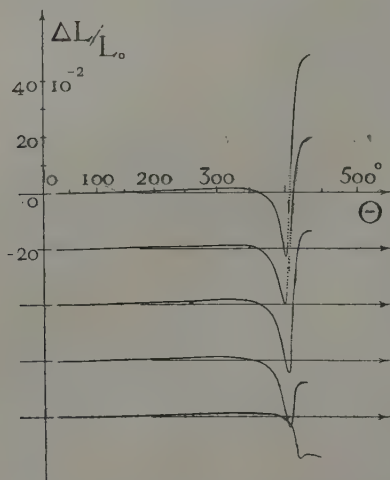


FIG. 5. — Courbes type Audibert-Arnu enregistrées avec une houille de Decazeville à 35 % de matières volatiles.

Les amplitudes très différentes du gonflement qui suit la pointe sont principalement en relation avec l'état plus ou moins oxydé de la houille.

Mais la codification de la technique Arnu et le quasi-automatisme de l'appareil favorisent la reproductibilité des résultats, tandis que la vigueur du tracé graphique permet d'en caractériser sûrement les plus fines singularités. C'est ainsi qu'on obtient des courbes superposables avec une même poudre de houille si, conservée sous l'eau, elle demeure parfaitement inaltérée. Mais si, exposée à l'air 24 heures seulement, elle a subi un commencement d'oxydation, cet effet se manifeste par un changement visible de la courbe dilatométrique.

D'habitude, l'essai type Audibert-Arnu est interrompu à

25-450°, température où le produit carbonisé, pratiquement devenu solide, cesse de mousser pour subir la contraction de frittage. Cependant, il peut être intéressant de poursuivre la chauffe jusqu'à 1.000°. La contraction se révèle particulièrement rapide autour de certaines températures (figure 6 à gauche. Courbes enregistrées avec un charbon de Sainte-Fontaine) et, selon la doctrine du Cerchar, cette accélération est en relation probable avec le développement de grandes fissures dans le gâteau de coke.

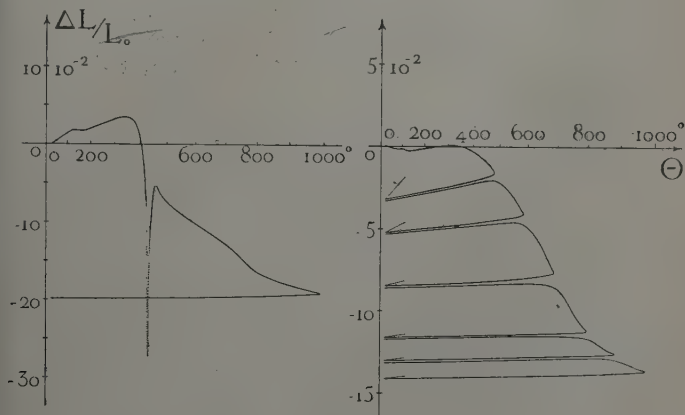


FIG. 6.

A gauche. Dilatation thermique de la houille crue, enregistrée jusqu'à 1.000°. Charbon de Sainte-Fontaine.

Entre 425° et 1.000°, les températures où la contraction est la plus rapide semblent correspondre à la fissuration du gâteau au sein du four à coke.

A droite. Dilatation thermique d'un semi-coke, préalablement obtenu en carbonisant une houille de Decazeville à 450°.

Méthode des cycles progressivement poussés. Pour chacun d'eux et jusqu'à l'approche du sommet, on note la dilatation quasi réversible du produit carbonisé.

La dilatabilité à température ordinaire est déduite des courbes enregistrées, entre 20° et 100°, au moyen de l'amplificateur le plus sensible : elle est d'autant moindre que le cycle thermique antérieur a été poussé à plus haute température.

Pour des recherches plus détaillées sur la contraction, il paraît préférable de s'adresser à un semi-coke préalablement carbonisé à 450°, puis de le soumettre à la technique de cycles thermiques progressivement étendus, comme dans les

recherches anciennes de M. J. Pomey. Les courbes de la figure 6 (à droite) confirment la quasi-réversibilité thermique du produit carbonisé dans tout le domaine inférieur à la plus haute température atteinte auparavant. Elles montrent aussi comment l'emploi de l'amplificateur le plus sensible permet de mesurer avec précision la dilatabilité entre 20 et 100°, et de chiffrer la diminution de cette propriété au fur et à mesure que s'élève la température maxima du cycle antérieur.

Il est à peine besoin de souligner l'intérêt scientifique des recherches dont le programme vient d'être ébauché, et dont

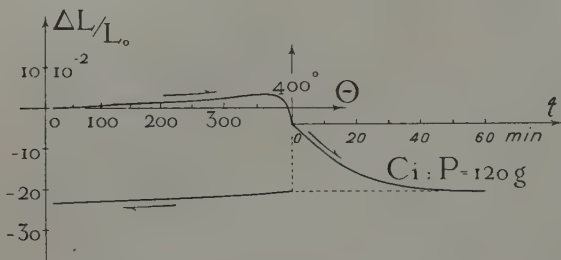


FIG. 7. — Essai type Audibert-Arnu suivi, à partir de 400°, par une chauffe à température constante. Houille de Decazeville.

Ci est la courbe de contraction isotherme à 400° du crayon soumis à une force de 120 gr.

l'exécution systématique est facile avec l'appareillage décrit. On peut en dire autant des expériences sur le fluage de la houille, portée dans le domaine de la fusion pâteuse, puis maintenue à température constante (fig. 7. Charbon de Decazeville).

Comme *application pratique*, il paraît opportun de citer le contrôle dilatométrique des fines à coke institué par MM. P. Schuller et J. Chéreau aux Usines chimiques et métallurgiques de Decazeville.

A priori, le gonflement de la houille, mesuré par la hauteur du crochet au-dessus de l'axe des températures, est en relation avec l'aptitude des grains à se souder et à former une pâte plastique. Une oxydation partielle vient-elle altérer la houille, ou bien le constituant fusain se trouve-t-il domi-

er aux dépens du vitrain, on voit baisser en même temps le gonflement mesuré au dilatomètre et le pouvoir cokéfisant. Effectivement, une étude statistique poursuivie depuis trois ans a prouvé une corrélation certaine entre la courbe dilatométrique d'une houille et la qualité du coke, appréciée par la valeur d'usage au haut fourneau. La figure 8 est extraite des documents qui ont servi à l'établir.

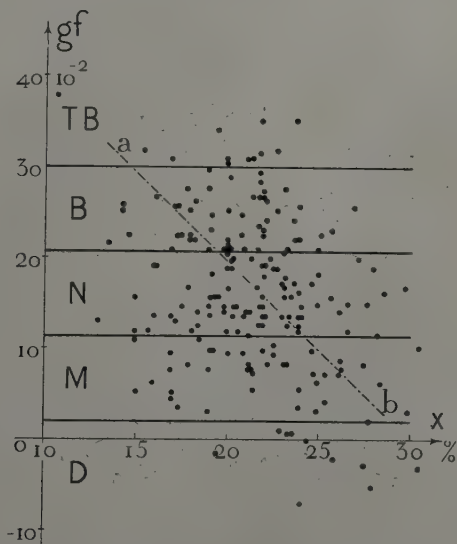


FIG. 8. — Contrôle dilatométrique des fines enfournées à la cokerie de Decazeville. Diagramme statistique illustrant l'influence de la granulométrie sur le gonflement gf .

L'abscisse X représente la proportion des grains dont la plus grande dimension est inférieure à 2 mm.

Elle représente, pour quelque deux cents charges enfournées à la cokerie, l'influence de la granulométrie sur le gonflement gf : l'abscisse X est la proportion, dans les fines, des grains dont la plus grande dimension est inférieure à 2 mm. Le nuage des points expérimentaux est grossièrement circonscrit par une ellipse, dont la droite ab est le diamètre conjugué des cordes verticales. La pente descendante de cette droite traduit, de manière quantitative, la nocuité des grains fins bien connue des cokiers. Dans les fines particules, en effet,

se concentrent les schistes, les portions oxydées de la houille et le fusain fragile, tous dépourvus de pouvoir agglutinant.

Quant à la corrélation gonflement-qualité des fines, elle est considérée comme tellement sûre, que le diagramme de la figure 8 a été divisé en cinq bandes horizontales étiquetées Très bon — Bon — Normal — Mauvais — Dangereux. Ce dernier qualificatif n'est pas exagéré. Aux faibles valeurs de l'ordonnée *gf* correspondrait, en effet, un pouvoir cokéfiant si précaire, que le gâteau s'effriterait au sein de la cellule lors du défournement. Alors, le coke en menus morceaux, coincé par le bouclier défourneur contre les piédroits du four, risquerait de leur transmettre des poussées capables de les forcer.

II. — THERMOGRAVIMÉTRIE DES HOUILLES.

Appliquée dès 1915 à des recherches métallographiques par K. Honda, utilisée en 1923 par Marcel Guichard pour mettre en lumière, au cours d'une seule expérience, les étapes d'une réaction thermochimique avec gain ou perte de masse, sans cesse perfectionnée dans sa technique et développée dans ses applications par les élèves et les continuateurs de ces pionniers, la méthode « de la pesée continue » ne pouvait manquer de trouver un large emploi dans l'étude des houilles.

La déshydratation et la pyrogénéation, la fixation d'oxygène et la décomposition des produits oxydés, la combustion à l'état cru ou après carbonisation, l'attaque par l'anhydride carbonique ou par d'autres gaz comburants, sont en effet justiciables de la thermogravimétrie. D'où les efforts consacrés à perfectionner l'outillage en vue d'analyser ces phénomènes avec précision.

Quelques lignes vont décrire l'appropriation, à cet objet, d'une thermobalance créée pour enregistrer la corrosion sèche des alliages. Puis deux courts paragraphes, consacrés aux travaux de M. J. Chéreau sur l'oxydation de la houille aux températures moyennes, montreront la finesse de la méthode et en feront entrevoir la fécondité.

1. — Thermobalance à enregistrement photographique.

Le schéma de la figure 9 montre les particularités de cet appareil très simple, et même banal en son principe.

La poudre de charbon, contenue dans un creuset C, est portée en haut d'une hampe lestée H, suspendue par un fil de tungstène tenace et flexible à l'extrémité droite du fléau.

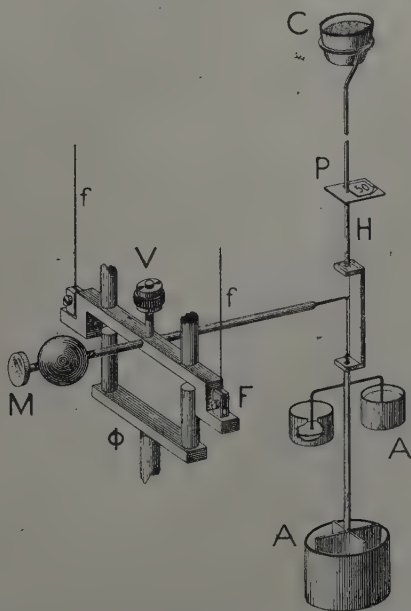


FIG. 9. — Schéma de la Thermobalance à enregistrement photographique, équipée pour l'étude de la houille pulvérulente.

Deux autres fils de même métal f , f , supportent le fléau, dont le bras gauche, alourdi par un contrepoids, se termine par un miroir concave M. La hampe porte-creuset pénètre librement dans un four à cloche, muni d'un régulateur pyrométrique à dilatation. Toute petite variation Δm de la masse de charbon détermine une inclinaison proportionnelle du fléau et, par le jeu du miroir, s'inscrit en fonction du temps t sur un papier sensible porté par un chronographe.

Comparée au couteau classique, la suspension funiculaire est plus exempte de frottement solide et définit mieux un axe invariable. Des amortisseurs à huile A étouffent les oscillations de la hampe et du fléau. La balance située au-dessous du four est soustraite aux courants d'air chaud. Le régulateur à fil dilatable impose, soit la constance de la température à un degré donné, soit une loi de chauffe donnée, matérialisée par un gabarit de carton enroulé sur un tambour de chronographe. Tous ces artifices assurent la reproductibilité parfaite des expériences et confèrent aux courbes (Δm , t) une finesse d'où résulte un haut pouvoir de résolution. De telles courbes sont reproduites sans retouche dans les figures 13 et 14.

La sensibilité, ajustable par la manœuvre d'une vis V, peut varier entre 0,5 et 5 mm. par milligramme sur l'échelle des ordonnées. On la vérifie aisément en plaçant une petite masse marquée, habituellement 50 mg., sur un plateau P soudé à la hampe H. Au cours des montages, le fléau est immobilisé par une fourchette Φ .

Si, au lieu d'opérer dans l'air, on désire soumettre la houille au contact d'une autre atmosphère, on garnit le four d'une cloche Cl en silice fondue (fig. 10), dans laquelle circule lentement le gaz choisi. Ce gaz : oxygène, hydrogène, azote, gaz d'éclairage, anhydride carbonique, fumées, etc., pénètre par le tube Tb et s'échappe par un étroit orifice annulaire, ménagé entre la hampe H et la tubulure Tu. Cette pièce, en alliage inoxydable, repose librement avec jeu latéral sur le bouchon plat B fermant le bas de la cloche : d'où possibilité d'un centrage parfait qui épargne tout frottement.

Un couple Le Chatelier Py sert à contrôler la marche du régulateur pyrométrique, dont l'organe essentiel est le fil dilatable F_1F_2 . Un perfectionnement, à l'étude, va réaliser un contact direct du couple et de la substance contenue dans le creuset, ce qui permettra d'enregistrer une courbe d'analyse thermique différentielle à côté de la courbe thermogravimétrique.

Ajoutons également qu'il est possible d'équiper la thermo-

balance pour l'enregistrement graphique : l'échelle des diagrammes masse-temps est sensiblement conservée, tandis que les tracés à la plume sur papier rivalisent de finesse avec les courbes photographiques.

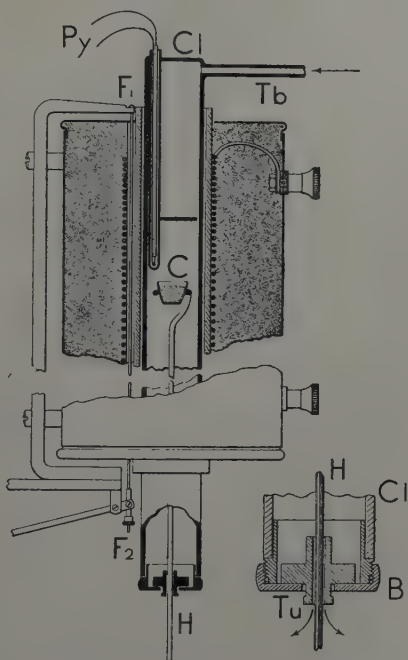


FIG. 10. — Cloche Cl associée à la thermobalance pour essais de la houille dans une atmosphère autre que l'air.

Le régulateur pyrométrique, à fil dilatable F_1F_2 , commande automatiquement la chauffe selon une loi température-temps arbitrairement choisie.

§. 2. — Oxydation d'une houille à l'air entre 100° et 270° .

Comme l'ont établi les travaux de H. Fayol et de H. Le Chatelier, les houilles grasses et flambantes, exposées à l'air aux températures inférieures au seuil de la pyrogénéation, commencent par s'alourdir en fixant de l'oxygène, puis s'allègent par décomposition des produits oxydés. La thermobalance permet l'étude commode et précise de ces deux réactions simultanées.

Entre les mains de M. J. Chéreau, au laboratoire des Usines chimiques et métallurgiques de Decazeville, elle a fourni d'intéressants résultats, qui vont être résumés pour servir d'exemples. Les expériences ont porté sur une poudre de répartition granulométrique constante, qui passe entièrement au tamis n° 60 et représente la moyenne de la houille à 35 % de matières volatiles extraite du fond.

La figure 11 groupe neuf courbes masse-temps relatives neuf températures échelonnées de 109° à 269°; chacune d'elles a été maintenue constante au demi-degré près pendant 72 heures. Construites à partir des courbes enregistrées, elles sont dessinées avec une échelle des temps trop faible pour faire apparaître certains détails des originales. Ainsi, elles n'accusent pas une « anomalie initiale d'oxydation », traduite par une pointe P, bien visible sur des courbes thermogravimétriques de la figure 13.

En d'autres mots, les *isothermes* de la figure 11 ne représentent que le gros des phénomènes. On peut les interpréter dans leur allure d'ensemble, par une somme de deux exponentielles en e^{-at} relatives, l'une à l'oxydation, l'autre à la décomposition des produits oxydés. La seconde réaction impose son signe au bout d'un temps d'autant plus court que la température est plus élevée.

A partir de ces isothermes, il est avantageux de construire les *isochrones* de la figure 12. Celles-ci montrent comment varie, en fonction de la température Θ , la variation relative de masse $\Delta m/m_0$, observée au bout de 3, 6, 10....., 72 heures. L'intérêt de cette représentation est de faire apparaître la quasi-constance du maximum pour les températures inférieures à 190° et d'en suggérer une interprétation.

Si ce maximum, en effet, mesure le plus haut degré d'oxydation dont la houille est susceptible, la valeur correspondante de $\Delta m/m_0$: 6,7 % doit coïncider avec l'oxygène équivalent à l'iode combiné, dans l'essai au réactif de Vijs. Or cette dernière épreuve a donné 6,8 %. Une telle concordance étaye l'hypothèse selon laquelle l'oxygène est fixé par l'ouverture des doubles liaisons dans les grosses molécules de la houille.

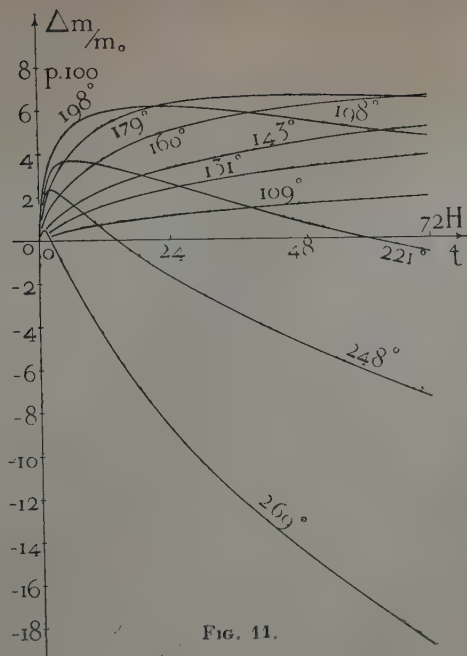


FIG. 11.

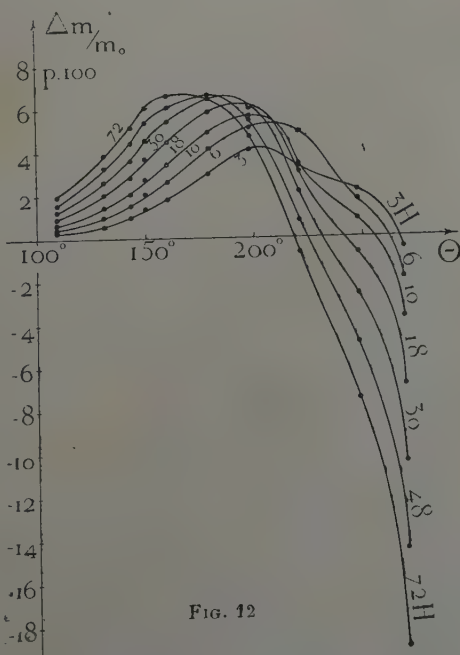


FIG. 12

FIG. 11 et 12. — Courbes *isothermes* (fig. 11) et *isochrones* (fig. 12), dessinées à partir des courbes enregistrées par la thermobalance.

Ces deux familles montrent selon quelle loi une houille de Decazeville à 5 % de matières volatiles, exposée à l'air à des températures comprises entre 00° et 270°, subit une oxydation aussitôt suivie d'une décomposition des produits oxydés.

§ 3. — Anomalie d'oxydation initiale de la houille. Importance des phénomènes superficiels.

Comme il vient d'être dit, les isothermes et les isochrones des figures 11 et 12, ne représentent qu'en gros la cinétique de la double réaction : fixation d'oxygène et décomposition des produits oxydés. Il s'y ajoute, en réalité, un phénomène subtil qui se manifeste, dans certains cas, après départ de l'humidité, par un pointement aigu P de la courbe masse :

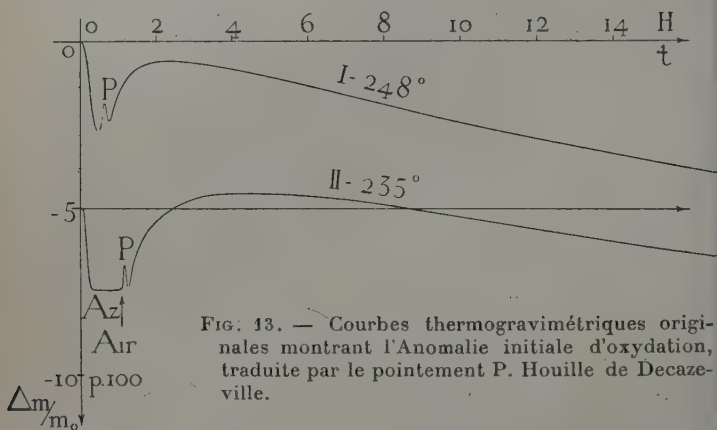


FIG. 13. — Courbes thermogravimétriques originales montrant l'Anomalie initiale d'oxydation, traduite par le pointement P. Houille de Decazeville.

temps enregistrée (fig. 13). M. Chéreau qui a découvert cette anomalie en a entrepris l'étude attentive.

Tout d'abord, le phénomène P est bien lié à l'oxydation de la houille. Il apparaît, en effet, avant même la fin de la déshydratation si la poudre est chauffée à l'air (courbe I de la figure 13). Mais si l'essai est effectué sous atmosphère d'azote, la houille une fois sèche conserve un poids constant (courbe II) jusqu'au moment précis où l'air, introduit dans la cloche, fait apparaître le pointement. Ce gain de masse, aussitôt suivi d'une perte, rappelle donc tout à fait les deux réactions principales décrites plus haut : tout se passe comme si elles se faisaient précéder d'un raccourci et d'un accéléré.

A quoi attribuer ce dédoublement du phénomène global en deux manifestations, l'une rapide accusée par la pointe P,

autre lente traduite par tout le reste de la courbe thermogravimétrique? M. Chéreau a imaginé que la première intéresse la surface et l'autre la masse des grains et, pour étayer son hypothèse, il a entrepris l'étude systématique du pointe-

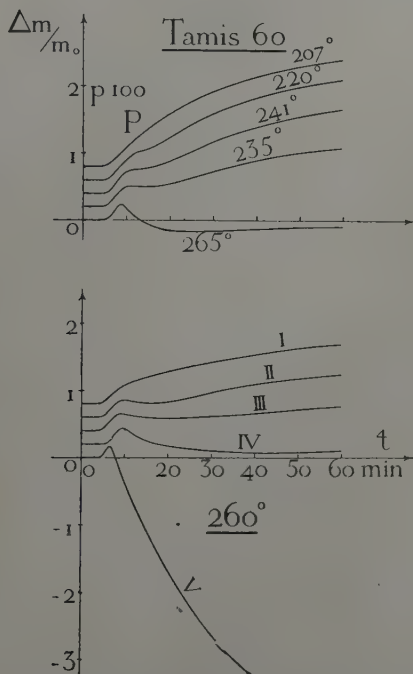


Fig. 14. — Exemple de courbes thermogravimétriques originales, enregistrées à grande échelle sur la houille de Decazeville en vue d'étudier l'influence des principaux facteurs sur l'Anomalie d'oxydation.

La première famille (en haut) montre l'influence de la température pour une finesse donnée de la poudre : tamis 60.

La deuxième famille (au bas) établit l'influence de la finesse pour une température donnée : 260°.

NUMÉRO DE LA COURBE	NUMÉRO DES TAMIS	OUVERTURE DES TAMIS mm.
I.....	26 — 25	0,315 — 0,250
II.....	21 — 20	0,100 — 0,080
III.....	20 — 19	0,080 — 0,063
IV.....	19 — 18	0,063 — 0,050
V.....	18	≤ 0,050

ment P, en faisant varier la température et la granulométrie de la poudre. Il a été nécessaire, pour cela, d'agir sur le réglage de la thermobalance afin d'augmenter les deux échelles des masses et des temps.

Comme le montrent les deux familles de courbes reproduites à titre d'exemples dans la figure 14, les deux facteurs *température* et *finesse des grains* agissent qualitativement de la même manière. Au fur et à mesure que l'on fait croître l'un d'eux, l'autre demeurant constant, les courbes thermogravimétriques éprouvent les mêmes changements d'aspect. L'anomalie P, d'abord à peine marquée par un excès local de courbure, évolue vers un palier, puis vers un maximum de plus en plus aigu, pour enfin disparaître quand les phénomènes deviennent très rapides.

Peut-on supposer l'existence d'une substance beaucoup plus oxydable que la moyenne de la houille, et assez friable pour se concentrer dans les plus fines particules? L'hypothèse a été soumise au contrôle de l'expérience qui l'a fait rejeter. Avec des tamis aux numéros consécutifs, on a préparé divers lots de poudre à granulométrie très homogène, puis on a poursuivi le broyage jusqu'à la même finesse terminale. Or les courbes thermogravimétriques ont été trouvées superposables, quelle que fût la grosseur des grains à l'étape intermédiaire.

Il faut donc conclure, avec M. Chéreau, à une *exaltation de l'activité chimique à la surface des grains, causée par le broyage*. Une telle sensibilisation superficielle était d'ailleurs prévisible. Le broyage de la houille, colloïde formé de macromolécules, brise certaines liaisons et la surface des grains se trouve hérissée de valences inoccupées ou mal occupées, propres à déterminer une oxydation locale très active. Quelle que soit la valeur de cette interprétation, la thermogravimétrie montre, sur un exemple d'une particulière netteté, les cinétiques très différentes des mêmes réactions entre gaz et solide, selon qu'elles s'opèrent dans la masse ou en surface.

CONCLUSION.

Il est permis de souhaiter la poursuite et le développement des recherches sur l'analyse physicothermique des houilles, car leur portée pratique ne paraît pas inférieure à leur intérêt scientifique.

Déjà, l'essai dilatométrique type Audibert-Arnu a conquis droit de cité pour le contrôle des fines dans les cokeries. L'exécution automatique des expériences ne peut que hâter la diffusion de la méthode, tandis que les qualités métrologiques des courbes enregistrées au dilatomètre font entrevoir une nouvelle moisson de résultats. En particulier, une étude attentive de la contraction que subit la houille carbonisée entre 450° et 1.000° , semble de nature à éclairer, dans son mécanisme physicochimique, la fissuration du coke au cours de la carbonisation, donc peut-être à suggérer un moyen d'intervention.

Quant à l'analyse thermogravimétrique de la houille, on peut recommander, comme sujet d'étude, l'anomalie d'oxydation aux températures moyennes dans ses rapports avec les réactions superficielles. Dans les essais à la thermobalance qui ont été décrits, la chaleur dégagée à la surface des grains est trop faible pour les échauffer au point de faire emballer la réaction.

N'en serait-il pas tout autrement avec des grains plus fins, ou avec des masses de charbon assez grandes pour freiner la dissipation des calories produites? Et le résultat d'une semblable étude ne serait-il pas de caractériser, mieux que par les méthodes antérieurement proposées, l'aptitude d'une houille à provoquer les feux de mine?

BIBLIOGRAPHIE

- ARNU, C. (1933, a). — *Chal. Industr.*, Fr., volume du 3^e Congrès du Chauffage industriel, 278.
- ARNU, C. (1933, b). — *Rev. Industr. minér.*, Fr., 155.
- AUDIBERT, E. (1926). — *Rev. Industr. minér.*, Fr., 115.
- AUDIBERT, E. (1927). — *Rev. Industr. minér.*, Fr., 1.
- CHARPY, G. et DURAND, J. (1920). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 171, 1358.
- CHÉREAU, J. (1952). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 234, 1165 et 1368.
- CHEVENARD, P. (1926). — *J. Phys. Radium*, Fr., 7, 240.
- CHEVENARD, P. et PORTEVIN, A. (1943). — *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.*, 66, 131.
- JOUMIER, E. et MILLEREUX, L. (1952). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 234, 2277.
-

SUR QUELQUES TYPES D'ARCHITECTURE CRISTALLINE DES COQUILLES DE MOLLUSQUES ⁽¹⁾

III. — TEXTURE ET BIRÉFRINGENCE DE LA NACRE

PAR G. SABATIER,

Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Sommaire: — On confirme les résultats de Rama Swamy (1935, 1936) sur la texture de la nacre des gastéropodes et des lamellibranches ; on explique à l'aide de ces données les propriétés biréfringentes de la nacre.

La nacre forme un agrégat de cristaux d'aragonite. Chacun d'eux est orienté de sorte que c , l'axe parallèle à la bissectrice aiguë, soit sensiblement normal à la surface de la coquille. Rama Swamy (1935, 1936) a montré qu'il existe trois types de nacre caractérisés par l'orientation des deux autres axes cristallographiques :

1° Les axes a sont parallèles à une direction commune avec des fluctuations variables autour de cette position moyenne ; c'est le cas de la nacre des lamellibranches.

2° Les axes a sont orientés au hasard, de sorte qu'il existe un désordre complet par rotation des cristaux autour de c ; c'est le cas de la nacre des gastéropodes.

(1) *Remarque* : A la demande de plusieurs zoologistes qui se sont intéressés à ce travail et qui ont trouvé absolument insuffisantes les indications données sur les espèces étudiées, je précise ce point ci-dessous :

La « nacre » de calcite a été spécialement étudiée dans :

Anomia ephippium
Gryphaea angulata
Pecten Jacoboëus

La nacre dite des Patelles dans

Patella vulgata

La nacre proprement dite (d'aragonite) dans

Mytilus edulis
Trochus acutangulus.

3° Les axes a sont parallèles à l'une ou l'autre de deux directions faisant un angle de 120° ; c'est le cas de la nacre des céphalopodes.

A l'aide de clichés de Laue obtenus avec des lames de nacre perpendiculaires au faisceau de rayons X, nous avons retrouvé les deux premiers cas précédents. Pour le premier, le cliché a un aspect presque normal; les taches sont seulement remplacées par de petits arcs de cercle, par suite des fluctuations autour de la position moyenne. Pour le second, les taches sont remplacées par des anneaux circulaires complets (voir planche I). Des essais répétés avec de la nacre de Nautilé, nous ont donné des clichés diffus, mais qui ne correspondent certainement pas au troisième mode d'arrangement.

Des expériences analogues faites avec cette partie de la coquille de certains mollusques, connue sous le nom de « zone homogène d'aragonite », en raison de son apparence unie au microscope, ont mis en évidence une texture tout à fait analogue à celle de la nacre. Notons toutefois que le second type d'arrangement s'observe, dans ce cas, chez les lamelli-branches. Ce qui suit s'applique aussi bien à la « zone homogène » qu'à la nacre.

Nous avons pensé qu'on pourrait expliquer, en fonction de cette texture, les propriétés optiques aberrantes de la nacre; bien que formée d'aragonite, la nacre est, en effet, uniaxe, ou biaxe avec un angle des axes toujours plus petit que pour l'aragonite.

Dans ce but nous avons utilisé la théorie des piles de lames de Mallard (1884), généralisée aux cas d'agrégats dont les cristaux ont des formes quelconques.

Nous définirons d'abord une fonction caractéristique de la texture; soient OXYZ un trièdre rectangle de référence, $A_1 A_2 A_3$ les axes de l'ellipsoïde des indices de l'un des cristaux, $n_1 n_2 n_3$ les indices principaux. Nous supposerons que A_3 est parallèle à c , dont la direction commune est OZ. L'orientation de chaque cristal est définie par l'angle $\widehat{A_1 O X}$. Dans un volume V contenant un très grand nombre de cristaux, il en existe un certain nombre pour lesquels $\widehat{A_1 O X}$ est compris entre α et $\alpha +$

$d\alpha$; nous pouvons mettre le volume dV occupé par ces cristaux sous la forme :

$$dV = V \cdot P(\alpha) d\alpha \quad \text{avec} \quad \int_{-\pi}^{+\pi} P(\alpha) d\alpha = 1 \quad (1)$$

la fonction $P(\alpha)$ fixant la répartition des cristaux. Bien que ce point ne soit pas essentiel, nous supposons, pour plus de simplicité, que cette fonction est paire : $P(\alpha) = P(-\alpha)$; l'arrangement des cristaux possède alors trois plans de symétrie confondus avec les trois plans du trièdre de référence, ce qui peut toujours être réalisé dans le cas de la nacre.

On peut, à l'aide de $P(\alpha)$, calculer les propriétés physiques moyennes d'un volume contenant un très grand nombre de cristaux, et, en particulier, déterminer la relation qui lie le champ à l'induction électrique.

Si les cristaux sont très petits vis-à-vis des longueurs d'onde lumineuses, les propriétés optiques se déduisent facilement de cette relation. La nacre est assimilable à un cristal unique; les axes de l'ellipsoïde des indices sont OX, OY, OZ et les indices principaux :

$$\begin{aligned} Nx &= n_1 + (n_2 - n_1) \int_{-\pi}^{+\pi} P(\alpha) \sin^2 \alpha d\alpha \\ Ny &= n_1 + (n_2 - n_1) \int_{-\pi}^{+\pi} P(\alpha) \cos^2 \alpha d\alpha \\ Nz &= n_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Pour appliquer cette théorie il suffit de connaître la forme de $P(\alpha)$ pour les deux types de nacre :

1° *Nacre des lamellibranches* ; les cristaux ont à peu près même orientation; $P(\alpha)$ décroît rapidement lorsque α croît à partir de 0. On voit alors que

$$\int_{-\pi}^{+\pi} P(\alpha) \sin^2 \alpha d\alpha$$

prend une petite valeur positive, et

$$\int_{-\pi}^{+\pi} P(\alpha) \cos^2 \alpha d\alpha$$

une valeur un peu inférieure à l'unité, leur somme devant être égale à 1. En portant ces valeurs dans (2) on trouve que $Ny - Nx < n_2 - n_1$. La nacre est biaxe avec un angle des axes plus petit que pour un monocristal d'aragonite.

2° *Nacre des gastéropodes* ; il y a désordre complet autour de c . $P(\alpha)$ a une valeur constante égale d'après (1) à $1/2\pi$. En portant cette valeur dans (2) on trouve :

$$Nx - Ny = \frac{n_1 + n_2}{2}.$$

La nacre est uniaxe.

L'examen en lumière convergente d'échantillons de nacre dont nous avons des clichés de Laue a permis de confirmer qualitativement ces calculs.

Les nacres dont le Laue donne des taches discrètes est biaxe. On reconnaît sur la planche les ovales d'égal retard et les hyperboles noires. Les nacres dont le Laue donne des anneaux sont uniaxes ; les diamètres des cercles d'égal retard suivent bien la loi des uniaxes, et sont traversés par la croix noire (voir planche II). On voit, en outre, sur ces figures qui ont été obtenues avec des lames taillées parallèlement à la surface de la coquille, que c n'est pas rigoureusement parallèle à la normale à cette surface, mais fait avec elle un petit angle.

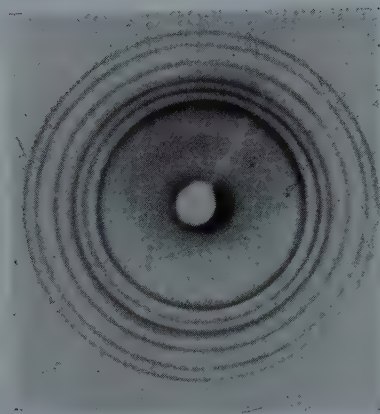
Remarquons, pour terminer, qu'on peut concevoir, de même, des agrégats de cristaux uniaxés, qui seraient optiquement biaxes. Il est probable qu'on doit trouver de tels cas dans les nombreuses textures, à cristaux de calcite, des coquilles de mollusques.

BIBLIOGRAPHIE

MALLARD (1884). — *Traité de cristallographie*, Paris, 2, 262.

RAMA SWAMY (1935). — *Proc. indian Acad. Sc.*, Sect. A, 1, 871.

— (1936). — *Proc. indian Acad. Sc.*, Sect. A, 11, 345.



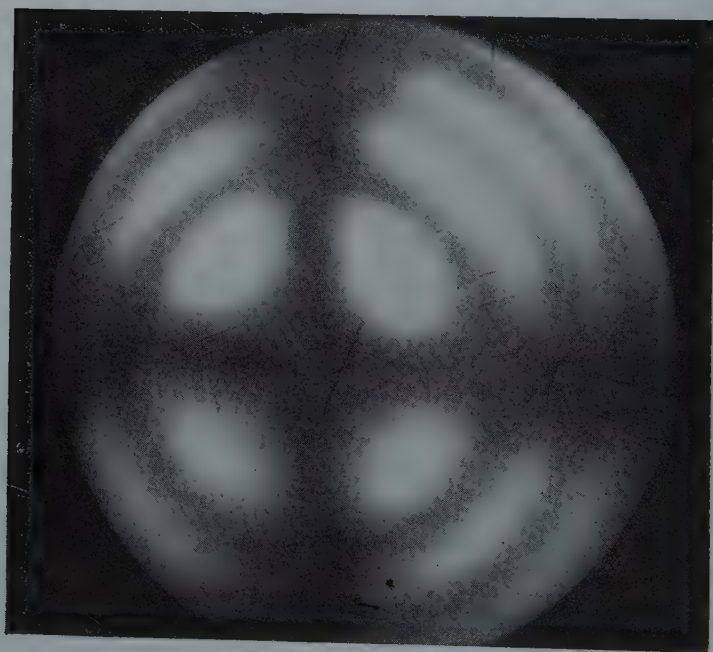
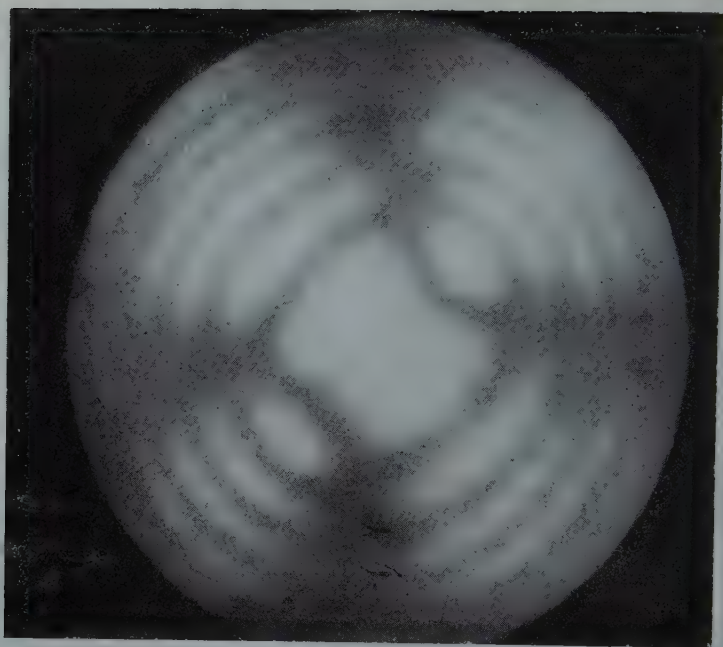
Explication des planches I et II.

PLANCHE I.

Haut. Cliché de Laue de la nacre de moule (anticathode de molybdène).
Bas. Cliché de Laue de la nacre de troque (*id.*).

PLANCHE II.

Haut. Figure de lumière convergente de la nacre de moule.
Bas. Figure de lumière convergente de la nacre de troque.



POSEMÈTRE POUR MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE APPLICATION AU CHOIX DES RÉVÉLATEURS

PAR G. CHAUME, J. GUILLAUME ET A. MATHIEU-SICAUD,

Laboratoire de Minéralogie, 4, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.

Laboratoire Central des Services Chimiques de l'État,
12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.

Sommaire. — Réalisation d'un posemètre pour microscope électronique basé sur la mesure du flux électronique. Le temps de pose a été mesuré pour tous les grossissements. Cet appareil a été utilisé pour mettre au point une série de révélateurs permettant de faire varier le γ des émulsions de 1 à 7. De ce fait, il a été possible de modifier dans une assez large mesure le contraste ou la granulation des clichés (applications à quelques cas particuliers).

L'un des problèmes essentiels en microscopie électronique est la mise en évidence des détails fins de la préparation.

Il faut donc, d'une part, traduire fidèlement la limite inférieure des diamètres de particules, d'autre part, il faut pouvoir écarter des différences d'épaisseur aussi faibles que possible dans les préparations.

Dans le premier cas, il faut profiter au maximum du pouvoir séparateur de l'appareil; il peut alors être utile d'employer des grandissements optiques du négatif allant de 10 à 20 diamètres. En effet, un objet de 10 Å observé au grossissement maximum du microscope donnera une image de 0,025 mm. sur le négatif. Il est donc nécessaire que les dimensions de la granulation après développement soient très inférieures à la dimension de l'objet qu'on veut observer.

Ceci exige un développement spécial dit « grain fin ». Pour mettre au point un tel développement, il faut connaître exactement le temps d'exposition à employer.

Dans le second cas il faut agir sur le contraste de l'image à enregistrer. En effet, il n'est pas toujours aisé d'observer certains cristaux très minces et très transparents aux électrons comme l'hectorite par exemple. Ce corps donne des lamelles

d'épaisseur inférieure à 100 Å qui ne se décèlent sur l'écran d'observation qu'après ombrage au chrome sous un angle de 15°. Le contraste ainsi obtenu est encore très faible. Il est possible de l'améliorer en intercalant dans la pièce polaire objective un diaphragme fin, mais cette méthode diminue le pouvoir séparateur de l'appareil (Hillier J., 1947); en outre ce diaphragme se contamine rapidement.

Il est préférable de mettre au point un révélateur susceptible d'augmenter le contraste lors du développement du négatif. Pour cela il faut déterminer exactement le temps de pose à utiliser pour obtenir un contraste élevé et une granulation moyenne du négatif.

Le problème du temps de pose juste est donc assez important; il a été résolu par l'emploi d'un posemètre approprié aux conditions de travail d'un microscope électronique.

L'appareil que nous allons décrire est en service au Laboratoire de Minéralogie depuis le mois de novembre 1952. Il a été monté sur un microscope RCA modèle EMU 2D. Il peut s'adapter sur n'importe quel microscope, pourvu de fenêtres d'observation démontables.

I. — DESCRIPTION DE L'APPAREIL.

Les posemètres actuellement utilisés en microscopie électronique sont pour la plupart des appareils optiques comparant la brillance de l'écran fluorescent d'observation avec un étalon lumineux convenablement choisi (Drummond D. G., 1950).

Cette solution ne semble pas souhaitable; en effet, la brillance de l'écran varie assez fortement avec le temps (effet de la lumière extérieure et des électrons) et avec la quantité de poudre fluorescente utilisée au départ. D'autre part, il est plus rationnel d'éviter un intermédiaire optique puisque la plaque photographique est directement impressionnée par les électrons (Selme P., 1944).

Nous avons donc mesuré directement le flux d'électrons arrivant sur la plaque sensible selon le principe de Hamm F. A. (1951).

A) L'appareil récepteur des électrons (cliché 1) est une cupule de laiton (a) de diamètre voisin de 1,5 cm. Ce collecteur est escamotable de l'extérieur à l'aide d'un levier (b) pour permettre la prise du cliché au moment voulu. Le collecteur est isolé de son support par une tige de polytène (c) filetée extérieurement pour éviter les pertes de charges. Le diamètre du collecteur a été choisi suffisamment petit pour mesurer le flux d'électrons traversant la préparation dans une plage dépourvue de particules.

La sortie de courant se fait par un fil de cuivre (d) soudé à la cupule et traversant la fenêtre ; l'isolement en est assuré par du polytène.

Les deux joints correspondant à la sortie de courant (e) et au levier d'escamotage (b) sont des joints Wilson R. R. (1941). Au repos le collecteur est relié à la terre.

B) Les charges ainsi collectées sont appliquées directement sur la grille de mesure d'un électromètre à lampes alimenté sur secteur alternatif.

Le principe de cet appareil est classique ; c'est le montage en pont de Wheatstone de deux lampes triodes identiques. Le schéma du montage est conforme au plan de la figure 1.

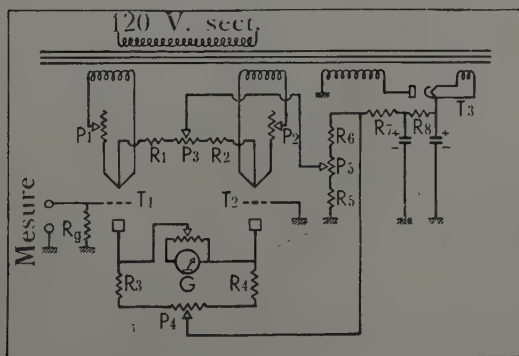


FIG. 1. — Électromètre secteur : schéma de principe.

($R_1 = R_2 = 500 \Omega$, $R_3 = R_4 = 15 k\Omega$, $R_5 = 0$, $R_6 = 8 k\Omega$, $R_7 = 18 k\Omega$, $R_8 = 3 k\Omega$, $P_1 = P_2 = 50 \Omega$ (lotq Alter), $P_3 = 300 \Omega$, $P_4 = 10 k\Omega$, $P_5 = 1 k\Omega$, R_6 shunt, $5.10^9 < R_g < 5.10^{10} \Omega$, $C_1 = C_2 = 50 \text{ MF}$, $T_1 = T_2 =$ lampe RL 1 P 2 : V_f série = 1,5 v, I_f série = 130 m A, $V_A = 30$ à 40 v, $I_A = 1$ à 2 m A, $T_3 =$ valve 6 X 4, $V_f = 6.3 \text{ v}$, $I_f = 0,4 \text{ m A}$, $V_A = 120 \text{ v}$, $I_A = 4$ à 5 m A).

L'isolement des enroulements du transformateur doit être soigné. Les tubes électromètres sont deux triodes séparés mais de caractéristiques géométriques et électriques identiques ; les filaments sont à chauffage direct à prise médiane. Pour laisser toute liberté sur la marque des tubes à employer, les valeurs des éléments ne sont pas indiquées ; il suffit simplement de prendre en considération un tube miniature triode ou penthode monté en triode et de bien veiller à la qualité du vide de l'émission électronique et de l'isolement de la grille de mesure ; cet isolement, très important, doit être supérieur ou égal à 100 Rg., c'est-à-dire $\geq 2 \cdot 10^{12}$ ohms dans le montage utilisé.

Le réglage de l'appareil est très simple, il suffit de réaliser l'équilibrage symétrique du pont avec les cinq potentiomètres réglables et de vérifier ce réglage en branchant l'alimentation de l'appareil sur un alternostat que l'on fera varier dans la limite des variations maxima de la tension du secteur utilisé.

L'appareil de lecture est un microampèremètre à cadran mobile $0 \pm 250 \mu A$ (0 au milieu de l'échelle) que l'on peut shunter suivant le degré de sensibilité désiré.

Pour les mesures de densité électronique moyenne, la sensibilité de l'appareil est réglée sur $8 \cdot 10^{-12}$ ampères par division de 10 microampères ; ceci correspond à un coefficient d'amplification, en courant de $1,25 \cdot 10^6$.

II. — RÉSULTATS ET APPLICATIONS.

A) Étalonnage du posemètre.

a) *Variation de zéro.* — Le zéro du microampèremètre reste très stable en fonction du temps, à condition d'opérer en l'absence de sources de charges secondaires.

1° Il faut donc travailler dans un vide inférieur ou égal à $3 \cdot 10^{-4}$ mm. Hg. En effet, pour un vide insuffisamment poussé, le collecteur se charge positivement par action des ions subsistant dans la colonne (*loc. cit.*, Hamm, 1951). C'est pour cette raison qu'on laisse le collecteur à la terre tant qu'on ne l'utilise pas pour un cliché.

2° La jauge à ionisation mesurant le vide dans la colonne comporte comme une source importante de charges négatives (courant collecté voisin de 10^{-10} A). Or, cette jauge est très voisine du collecteur; elle n'en est en effet séparée que par une grille métallique reliée à la terre. Il est donc nécessaire de remplacer la grille par une feuille métallique pleine, également reliée à la terre. La feuille est percée d'un trou de quelques millimètres, permettant d'observer la lueur de la jauge.

b) *Mesure des temps de pose.* — Les plaques photographiques utilisées sont des émulsions photomécaniques de grain assez fin et lentes. Nous avons étudié successivement les plaques Ilford Photomechanical T 847 ($\gamma = 3,4$ dans les conditions d'étalonnage, cf. figure 5, courbe *b*) et les plaques Crumière spéciales S ($\gamma = 2$ dans les mêmes conditions, cf. figure 5, courbe *a*).

Le révélateur employé pour la détermination des temps de pose est un révélateur classique au génol hydroquinone comportant quatre bains de concentration croissante selon la méthode préconisée par Houppé (1947). La température de développement a été fixée aussi exactement que possible à 20°.

Toutes les mesures correspondent à un courant de filament de 200 μ A. dans le canon polarisé du microscope.

Nous avons vu que le posemètre n'enregistrait que l'intensité transmise par une plage dépourvue de particules. La mesure faite correspond donc au plus grand noir du négatif. Pour profiter au maximum de la latitude de pose offerte par les émulsions, dans les conditions de développement précisées ci-dessus haut, nous avons fixé la densité de référence du négatif (densité maximum) à 1,45 pour les émulsions Ilford et pour les émulsions Crumière.

Les résultats des mesures sont représentés par les courbes de la figure 2. La courbe (*a*) montre la variation du temps de pose en fonction du courant qui passe dans le posemètre, pour les plaques Ilford; la courbe (*b*) est relative aux plaques Crumière.

Quel que soit le grossissement utilisé au microscope élec-

tronique et quelle que soit la luminosité de l'écran fluorescent on peut ainsi choisir un temps de pose approprié. Ce temps ne dépend que de la quantité d'électrons frappant la plaque photographique.

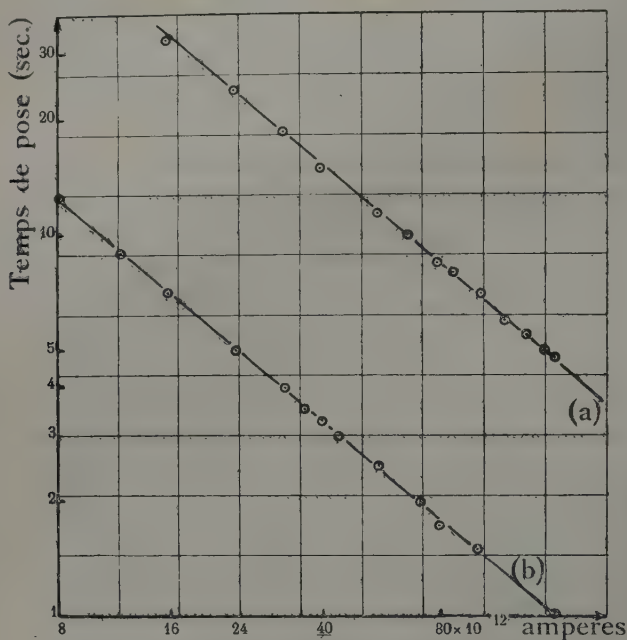


FIG. 2.

B) Étude de quelques révélateurs.

La préparation à examiner en microscopie électronique caractérise par la gamme plus ou moins étendue de ses opacités ainsi que par la différence entre ses opacités extrêmes.

Il y aurait donc intérêt à faire varier le γ de l'émulsion employée dans d'assez larges limites pour renforcer le contraste du sujet, ou au contraire en traduire fidèlement les détails.

Le choix du révélateur à employer est donc fonction du sujet à photographier. Nous avons établi une gamme de révélateurs susceptibles de faire varier le γ de 1 à 7 (les plaques

γ	ÉMULSION UTILISÉE	RÉVÉLATEUR	CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT	GOURBES CARACTÉRISTIQUES AUX ÉLECTRONS
1,2	Crumière	formule Kodak DK 20	3 minutes à 20°	courbe a, fig. 3.
1,54	Crumière	DK 20	4 minutes à 20°	courbe b, fig. 3.
(γ max.) 1,73	Crumière	DK 20	6 minutes à 20°	courbe c, fig. 3.
1,8	Ilford	DK 20	3 minutes à 20°	courbe a, fig. 4.
2	Crumière	révéléateur d'étalonnage Houppé	1 minute dans chaque bain à 20°	courbe a, fig. 5.
2	Ilford	DK 20	4 minutes à 20°	courbe b, fig. 4.
2,3	Ilford	DK 20	6 minutes à 20°	courbe c, fig. 4.
3	Ilford	formule Kodak DK 50	4 minutes à 18°	courbe a, fig. 6.
3,4	Ilford	Houppé (étalonnage)	1 minute dans chaque bain à 20°	courbe b, fig. 5.
(γ max.) 4,3	Ilford	DK 50	6 minutes à 18°	courbe b, fig. 6.
(γ max.) 5,7	Ilford	Kodak D 19	6 minutes à 18°	courbe, fig. 7.
(γ max.) 6,7	Ilford	Kodak D 11	6 minutes à 21°	courbe, fig. 8.

utilisées ici étant du type diapositive présentent des γ supérieurs à l'unité).

La détermination du γ de l'émulsion pour un révélateur donné se fait par la méthode habituelle, en mesurant la pente de la courbe caractéristique. Ces courbes ont été établies en exposant les plaques aux électrons durant des temps croissants, en conservant un courant constant dans le posemètre ($1,04 \cdot 10^{-10}$ A. pour les plaques Ilford et $32 \cdot 10^{-12}$ A. pour les plaques Crumières).

Pour fixer la durée et la température de développement d'un révélateur donné, nous avons déterminé le γ maximum de l'émulsion pour ce révélateur. Cette détermination a été faite en lumière ordinaire par la méthode classique du coin de Golberg. Nous avons construit les courbes caractéristiques à l'aide du coin pour des durées et des températures variables et détermi-

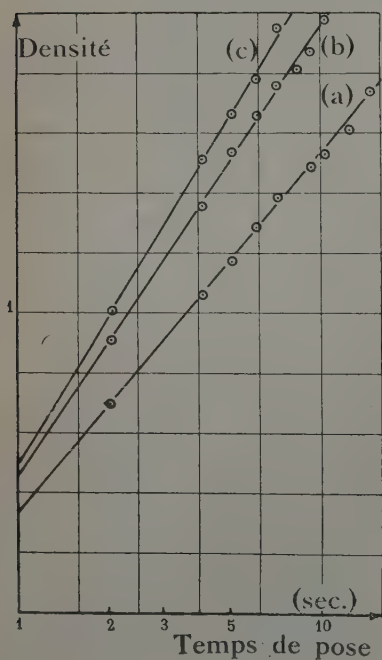


FIG. 3.

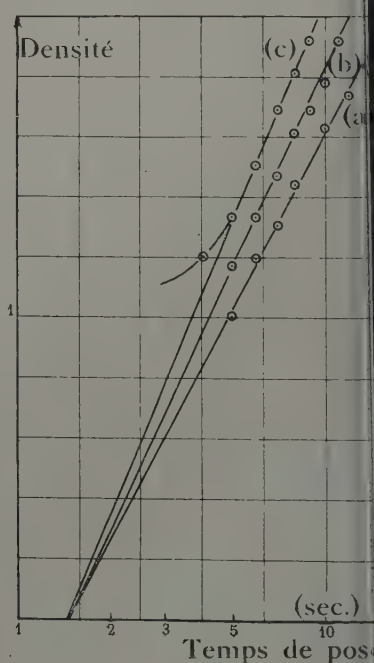


FIG. 4.

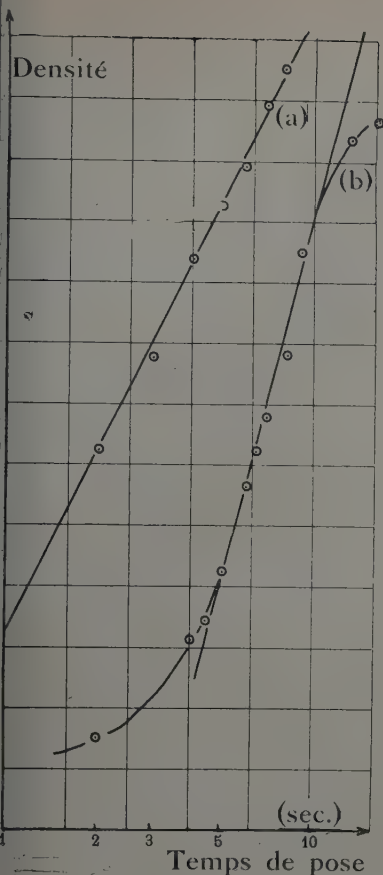


FIG. 5.

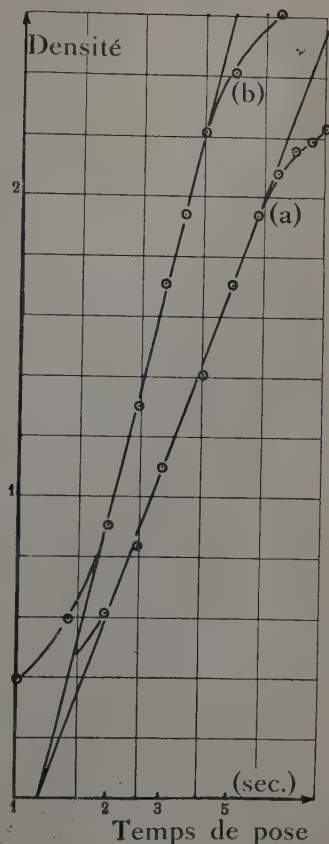


FIG. 6.

miné le γ maximum qui correspond aux conditions optima de développement à ne pas dépasser.

Les résultats correspondant aux différents révélateurs essayés et aux émulsions étudiées sont rassemblés dans le tableau (p. 199) et dans les figures 3 à 7 qui représentent les différentes courbes caractéristiques des émulsions utilisées.

C) Choix du révélateur.

Comme nous l'avons déjà vu, le choix du révélateur dépend essentiellement du sujet qu'il faut reproduire. Nous pouvons

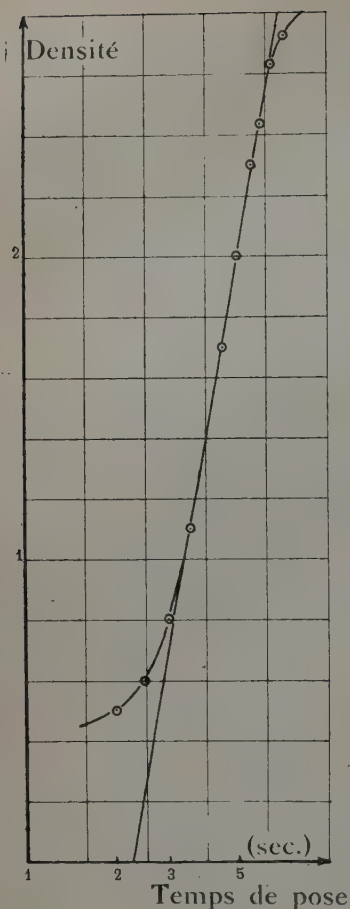


FIG. 7.

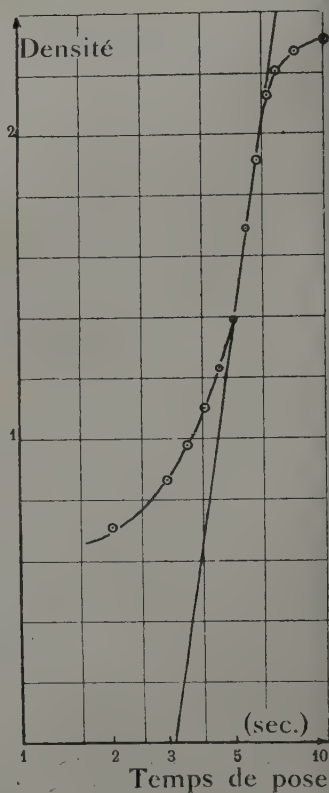


FIG. 8.

donc tenter de classer les sujets selon la caractéristique essentielle que nous voulons faire ressortir.

En gros, nous pouvons considérer deux types de préparations à photographier :

1° les préparations bien contrastées, c'est-à-dire celles dont l'intervalle d'opacités est grand. (Nous pouvons donner comme exemple les kaolinites, les sels d'or) ;

2° les préparations à faible contraste (argiles telles que hectorite, illite, et la plupart des répliques).

Dans le premier type (préparations à grand intervalle d'opacités) on peut distinguer **deux cas**.

a) Préparations montrant de nombreux détails (exemple kaolinite) c'est-à-dire des différences d'opacité variées.

b) Préparations sans détails (cas des sols d'or) mais présentant des particules de très faibles dimensions.

Chacun de ces groupes exige un développement approprié d'une émulsion qui convienne.

Parmi les différents révélateurs du tableau précédent nous pouvons trouver ceux qui semblent le mieux convenir aux types de préparation que nous venons d'énumérer.

Pour les préparations bien contrastées (1^{er} groupe) nous choisirons des révélateurs et des émulsions de faible γ (de 2 à 3,4). Nous réserverons les γ les plus proches de 1 (révélateur grain fin) aux préparations montrant des particules de petit diamètre (type sol d'or); ceci permettra d'utiliser pour le tirage sur papier des grossissements optiques de $10\times$ avec une granulation minime. C'est ce que montre par exemple le cliché 2. La suspension observée est un sol d'or préparé selon la méthode de Szigmondy, le grossissement direct au microscope électronique est 22.000 diamètres, le grossissement optique est $20\times$. Le négatif (émulsion Cruvière) a été développé au DK 20 3 minutes à 20° .

Pour les préparations bien contrastées, mais comportant de nombreux détails dans l'épaisseur des particules (kaolinite) nous utiliserons de préférence les γ un peu plus élevés (au voisinage de 2).

Pour les particules de faible contraste (2^e groupe) nous emploierons la série des révélateurs donnant un γ supérieur à 3,4. Le révélateur donnant le γ maximum de 6,7 ne sera utilisé que pour des préparations *sans détails* et à contraste très faible. Le cliché 3 représente des fractions fines d'illite : le révélateur utilisé ici est le DK 50 (6 minutes à 18° $\gamma = 4,3$). Le grossissement optique est $8,5\times$.

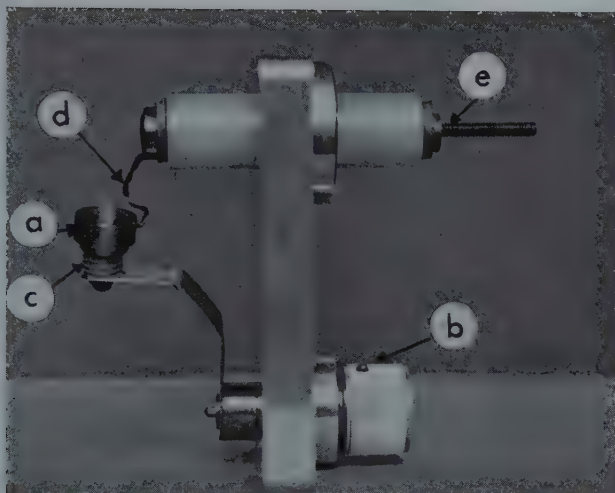
Le cliché 4 qui montre des particules de chrysotile a été développé au γ 6,7 en employant le D11 (6 minutes à 21° C). Le grossissement optique est $4\times$.

CONCLUSIONS.

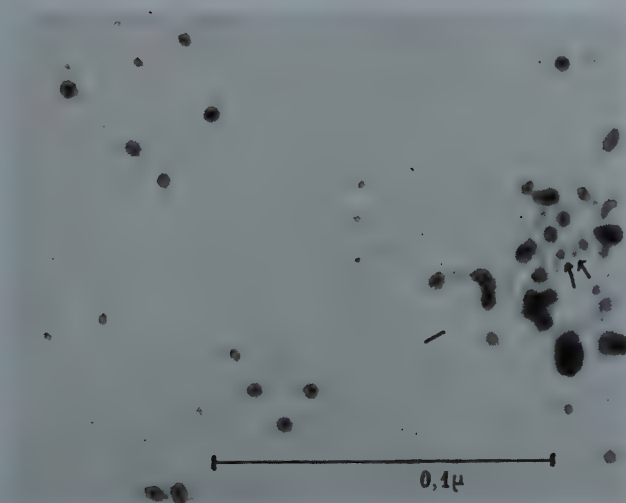
L'emploi du posemètre que nous avons décrit permet d'utiliser rationnellement un choix de révélateurs variés. Il devient ainsi plus facile de mettre en évidence sur les clichés les détails importants d'une préparation. Il devient aisé en effet de renforcer les contrastes, d'agrandir une particule très petite ou de conserver tous les détails d'une préparation.

BIBLIOGRAPHIE

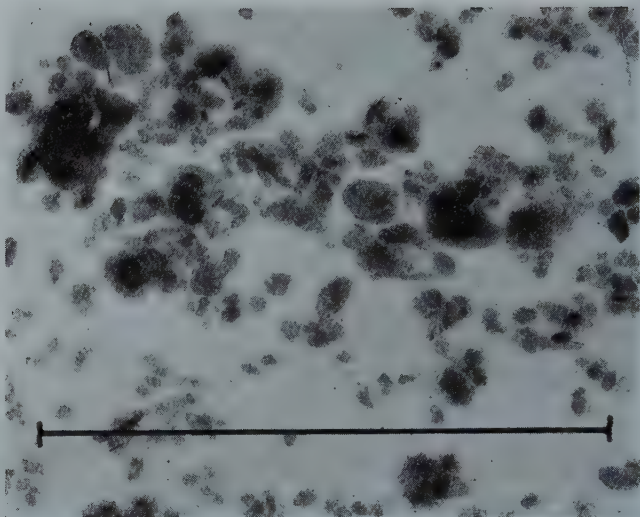
- DRUMMOND, D. G. (1950). — *J. r. micr. Soc.*, G.-B., 70, n° 11.360, 123.
HAMM, F. A. (1951). — *Rev. sc. Instrum.*, U. S. A., 22, 12, 895.
HILLIER, J. et RAMBERG, E. G. (1947). — *J. appl. Phys.*, U. S. A., 18, 48.
HOUPPE (1947). — *La photographie*, 5^e édition, Le Mans, 87.
SELME, P. (1944). — *Photographie électronique*, Note n° 79, Laboratoire National de Radioélectricité.
WILSON, R. R. (1941). — *Rev. sc. Instrum.*, U. S. A., 12, 91.
-



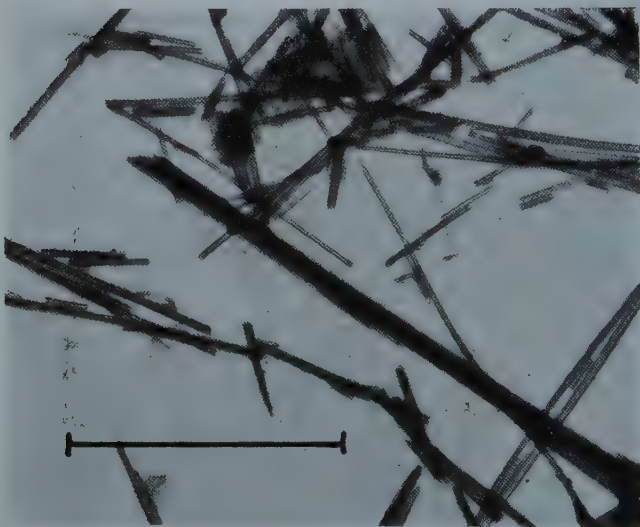
CLICHÉ 1. — Vue du posemètre.



CLICHÉ 2. — Sol d'or (D K 20. 3 min. 20°, papier Agfa normal).



CLICHÉ 3. — Illite fine (DK 50. 6 min. 18°, papier Agfa dur).



CLICHÉ 4. — Chrysotile (D Il. 6 min. 21°, papier Agfa normal).

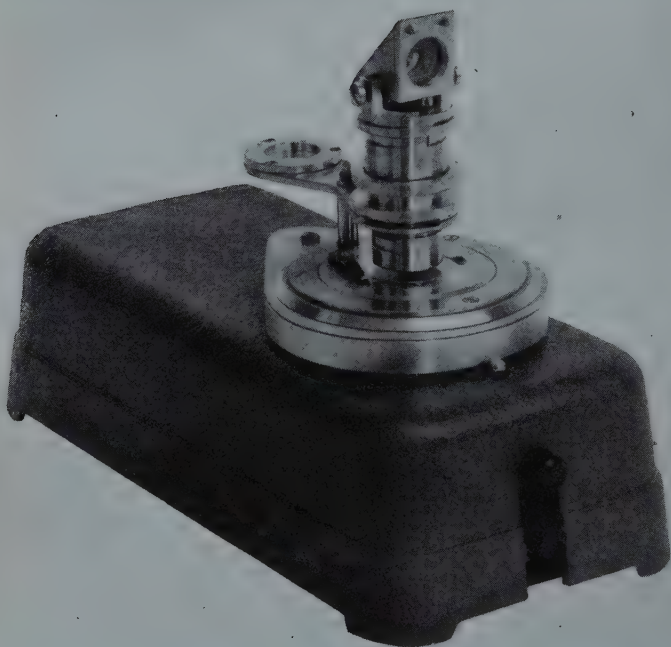


FIG. 1. — Vue d'ensemble de l'appareil monté pour projections en lumière convergente.

De bas en haut :

- la boîte à lumière avec transformateur formant socle ;
- la plaque porte-platine faisant en même temps office de chicane de ventilation ;
- l'appareil de polarisation précédemment décrit, surmonté de la lentille de champ de l'objectif réglable et enfin du prisme dans sa monture orientable.

PROJECTEUR DE PRÉPARATIONS MICROSCOPIQUES

PAR R. DUPUIS.

Sommaire. — Description d'un appareil simple, robuste, d'encombrement et de poids réduits, permettant la projection en lumière ordinaire et polarisée parallèle et convergente.

Description générale.

Ce nouvel appareil est dérivé de la loupe polarisante déjà décrite⁽¹⁾.

Il se compose de deux parties principales :

1° une source de lumière ;

2° une platine et ses accessoires.

1° Boîte à lumière :

Elle comporte une ampoule de 6 volts - 5 ampères à filament ponctuel et calotte sphérique métallisée, avec son alimentation, un condensateur optique et une plaque porte-platine formant chicane de ventilation.

Cette boîte à lumière forme le socle et repose sur des pieds de caoutchouc pour amortir la transmission des vibrations.

2° Platines :

a) *Le modèle simple* sert à projeter les préparations microscopiques ne nécessitant pas un grossissement supérieur à 200 ou 300, en lumière ordinaire seulement. Il comporte trois objectifs, un périscopique et deux aplanétiques, donnant respectivement des grossissements de 26, 42 et 75 par mètre de distance de projection.

b) *Le modèle polarisant* est destiné à la projection en lu-

(1) R. DUPUIS (1952), *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.*, 75, 555-8.

mière polarisée (un nicol), en lumière polarisée *parallèle* (deux nicols croisés ou parallèles ou à toute autre position intermédiaire), enfin en lumière polarisée *convergente* (deux nicols croisés ou parallèles, etc...).

Cette platine ne diffère de celle équipant la loupe polarisante que par le fait que la tête portant l'analyseur est double et a la forme d'un huit. Une boucle du huit porte l'analyseur que nous connaissons ; l'autre est un simple support d'objectif qui permet de projeter des phénomènes dus à la réfraction et au pléochroïsme ainsi que n'importe quelle préparation microscopique transparente ne nécessitant pas un grossissement supérieur à 100.

Selon la nature des travaux que l'on désire projeter, on utilise l'un ou l'autre de ces deux supports.

Ce modèle polarisant n'admet que l'objectif périscopique donnant un grossissement de 26 par mètre de distance de projection.

Pour projeter les phénomènes de lumière convergente on ajoute les condensateurs à court foyer, objectif collecteur et lentille de champ précédemment décrits avec la loupe polarisante.

On peut adjoindre à cet appareil un micromètre, une cuvette, des filtres colorés, etc...

PRISME :

L'objectif réglable surmontant l'une et l'autre platine est coiffé par un prisme à réflexion totale à hypoténuse métallisée. Ce prisme, mobile dans deux directions perpendiculaires, assure un centrage immédiat et parfait de l'image sur l'écran.

Caractéristiques et possibilités.

Diamètre du champ : 20 millimètres.

Distance convenable de projection en lumière polarisée parallèle (nicols croisés) : 3 mètres.

Diamètre de l'image en lumière parallèle à 3 mètres : 1,50 mètre environ.

Diamètre des figures d'interférence à 3 mètres : de 60 à 90 centimètres.

Consommation : 30 watts.

Les possibilités du projecteur en lumière polarisée sont sensiblement les mêmes que celles de la loupe polarisante.

La projection peut se faire par réflexion sur écran opaque blanc ou par transmission sur dépoli ; ces deux écrans pouvant porter, l'un et l'autre si besoin est, un réticule.

Dans ce cas, on règle le projecteur en tournant la platine divisée et le socle jusqu'à ce qu'un cristal à extinction droite soit parallèle à l'un des fils et éteint entre nicols croisés.

Encombrement, poids :

1° projecteur avec transformateur :

longueur 28 cm. \times largeur 14 cm. \times hauteur 22 cm.,
poids : 4 kg. environ ;

2° projecteur sans transformateur :

longueur 15 cm. \times largeur 15 cm. \times hauteur 22 cm.,
poids : 1.800 gr. environ.

Pour conclure, qu'il nous soit permis d'espérer que ce projecteur sera utile aux membres du personnel enseignant des différents cycles, ainsi qu'aux conférenciers pour illustrer leurs cours et causeries.

RÉPARTITION DES ÉLÉMENTS DÉCELABLES SPECTROGRAPHIQUEMENT DANS LES EAUX THERMOMINÉRALES

PAR M^{lle} R. LAGRANGE ET M. P. URBAIN,
Laboratoire d'Hydrologie, Faculté des Sciences de Paris.

Sommaire. — Les éléments reconnus (Ag, Sn, Cu, Pb, Ge, Mo, Cr, Ti, Sb, Gl, Zn, Ga, Ba, Ni, Al, Va, Bi, Wo, Sr, Tl) appartiennent, à cinq exceptions près, au groupe dont l'ion S^{--} provoque la précipitation, celle-ci étant toutefois incomplète en milieu alcalin. On ne s'étonnera donc pas de les trouver à l'état de traces dans les eaux minérales. Les minéraux filoniens de ces éléments sont principalement des sulfures simples ou complexes.

La recherche systématique des éléments décelables par voie spectrographique dans les eaux thermales ou minérales a été entreprise en 1912 par Jacques Bardet sur l'initiative de G. Urbain. Il en a constamment perfectionné la technique, ainsi que le montrent les résultats publiés d'abord en 1914, puis dans les *Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie* entre 1923 et 1947 : il y est fait mention de 20 éléments que nous énumérons, dans le tableau I, dans l'ordre de leur fréquence dans les 31 émergences complètement étudiées à cet égard par Bardet et ses collaborateurs.

Cette liste appelle une remarque préliminaire : en réalité, les spectres obtenus par les méthodes de l'arc ou de l'étincelle ont souvent montré les raies d'autres éléments, mais il a été jugé inutile d'en faire état comme éléments « spectrographiques » dans le cas où les méthodes de l'analyse chimique avaient déjà permis de les reconnaître et à plus forte raison de les doser. C'est par exemple ce qui s'est produit pour le manganèse et pour le fer, presque toujours dosables gravimétriquement, et dont les raies très nombreuses compliquent la lecture et l'interprétation des spectres. De leur côté, l'aluminium et le strontium n'ont été signalés comme « spectrographiques » que dans les cas (12 pour le premier, 4 seulement

pour le second) où il avait été impossible de les doser chimiquement dans les eaux étudiées; en fait, leurs raies sont toujours visibles. Enfin, il arrive que la sensibilité des réactions chimiques qui permettent de doser un élément soit supérieure à sa sensibilité spectrographique : il en est ainsi pour l'arsenic, et c'est pourquoi il ne figure pas sur les listes établies par Bardet.

Il importe d'autre part de ne pas perdre de vue que la détection d'un élément par voie spectrographique est presque toujours impossible sur l'extrait sec brut de l'eau analysée, extrait dans lequel il se trouve noyé dans une masse énorme de sels et d'oxydes. L'exemple du germanium est typique à cet égard : Bardet a pu fixer sa concentration dans les eaux de Vichy à $1,6 \cdot 10^{-7}$ gr. par litre, ce qui correspond à une proportion de $1,9 \cdot 10^{-8}$ gr. dans l'extrait. Or la sensibilité spectrographique du germanium est de l'ordre de 10^{-5} (une partie pour 100.000); la proportion indiquée est donc 500 à 1.000 fois trop faible pour permettre de le déceler. L'extrait doit donc être soumis à un fractionnement par groupes analytiques, qui a pour but d'éliminer successivement la majeure partie des éléments très abondants, afin de ne soumettre à l'épreuve de l'arc qu'un résidu partiel dans lequel l'élément recherché a toutes chances de se trouver à une concentration supérieure à sa limite de sensibilité spectrale. Ce fractionnement, précédé par une longue et minutieuse évaporation dans le platine, est effectué sur des volumes compris entre 30 et 120 litres, suivant la nature et la salinité de l'eau.

Il nous a semblé intéressant de rechercher les relations qui peuvent exister entre la répartition des éléments « spectrographiques » dans les diverses eaux thermominérales, les caractères de ces éléments, leur abondance dans l'écorce terrestre et la forme de leurs minéraux les plus communs. En d'autres termes, nous nous sommes proposé d'examiner l'aspect géochimique de cette répartition, dont l'aspect analytique peut être considéré, sinon comme définitivement éclairci, du moins comme suffisamment connu pour fournir les matériaux d'une étude nouvelle.

Le tableau I permet de constater que les éléments les plus souvent rencontrés sont ceux dont la sensibilité spectrale est la plus élevée (10^{-5} à 10^{-6}). Abstraction faite du strontium, dont on a dit plus haut que sa fréquence spectrographique réelle est beaucoup plus élevée que ne l'indique le tableau, on remarquera que les trois derniers éléments de celui-ci (tungstène, bismuth, thallium) jouissent d'une sensibilité médiocre (10^{-3} à 10^{-4}); il est donc naturel qu'ils n'aient été observés que rarement.

Toutefois, cette règle ne représente qu'une première approximation. Par exemple, l'antimoine et le zinc, dont la sensibilité n'est pas plus grande que celle du tungstène, du bismuth et du thallium, ont pourtant été décelés beaucoup plus fréquemment.

D'autre part, il ne paraît pas possible d'admettre que la fréquence spectrographique d'un élément soit déterminée par son abondance dans l'écorce terrestre. En particulier, le titane n'a pas été rencontré aussi souvent que sa sensibilité spectrale et sa teneur moyenne dans la lithosphère (0,40 %) pouvaient le faire supposer. Plus généralement, il est frappant de voir que l'abondance relative de l'argent et du thallium, qui occupent le premier et le dernier rang de la liste, est du même ordre : inférieure à 0,005 %.

De même, la répartition des éléments énumérés dans le tableau I ne paraît pas commandée par leur position dans la classification périodique, c'est-à-dire par leur nombre atomique et leur valence principale. On notera cependant avec intérêt qu'à l'exception de l'argent, monovalent, et du glucinium, du strontium et du baryum, divalents, tous ces éléments ont des rayons cristallins ⁽¹⁾ compris entre 0,50 et 1,0 U.Å. : il s'agit donc là des valeurs moyennes, aussi éloignées de celles qui caractérisent les halogènes que de celles qui appartiennent à des ions à valence négative élevée.

Si maintenant on cherche à déterminer les facteurs qui

(1) Ce rayon correspond naturellement à la valence principale indiquée dans le tableau I.

influent sur la répartition des 20 éléments décelés spectrographiquement dans les 31 sources étudiées, on voit que ces dernières peuvent être divisées en trois grandes catégories :

TABLEAU I

Principaux caractères des éléments « spectrographiques »
décelés dans les eaux thermominérales.

Colonne 1 : L'élément considéré a été rencontré n fois par voie spectrographique dans les eaux thermominérales.

Colonne 2 : Abondance relative (%) dans l'écorce terrestre, d'après F. W. Clarke.

Colonne 3 : Sensibilité spectrographique, d'après J. W. Ryde et H. G. Jenkins.

Colonne 4 : Nombre atomique.

Colonne 5 : Valence principale.

Colonne 6 : Rayon cristallin correspondant à la valence principale, d'après L. Pauling.

Symbole	1	2	3	4	5	6
Ag.....	$n = 26$	0,003	10^{-6}	47	+1	1,26
Sn.....	26	0,003	10^{-5}	50	+4	0,71
Cu.....	25	0,003	10^{-6}	29	+1	0,96
Pb.....	24	0,003	10^{-5}	82	+4	0,84
Ge.....	23	0,003	10^{-5}	32	+4	0,53
Cr.....	21	0,03	10^{-6}	24	+6	0,52
Mo.....	21	0,003	10^{-5}	42	+6	0,62
Ti.....	18	0,40	10^{-5}	22	+4	0,68
Sb.....	17	0,003	10^{-4}	51	+5	0,62
Gl.....	14	0,003	10^{-5}	4	+2	0,31
Zn.....	14	0,003	10^{-4}	30	+2	0,74
Ga.....	13	0,003	10^{-5}	31	+3	0,62
Al.....	12	7,90	10^{-5}	13	+3	0,50
Ba.....	12	0,09	10^{-5}	56	+2	1,35
Ni.....	11	0,02	10^{-6}	28	+3	
V.....	10	0,01	10^{-5}	23	+5	0,59
W.....	9	0,003	10^{-3}	74	+6	
Bi.....	9	0,003	10^{-4}	83	+5	0,74
Sr.....	4	0,03	10^{-5}	38	+2	1,13
Tl.....	2	0,003	10^{-4}	81	+3	0,95

1° *Sulfurées sodiques* (Ax-les-Thermes, Cauterets), toujours situées près d'un massif granitique et le plus souvent le long de la surface de contact séparant ce massif des roches sédimentaires ou métamorphiques voisines ; leur minéralisation, dans laquelle la silice tient une place importante, ne dépasse pas 0,3 à 0,4 gr. par litre, mais leur alcalinité est particulièrement élevée ($\text{pH} = 8 \text{ à } 10$).

2° *Bicarbonatées et chlorobicarbonatées sodiques* (Vichy, Royat, Châtel-Guyon), dont l'émergence est liée à l'existence de massifs cristallins anciens et d'épanchements volcaniques d'âge tertiaire ou quaternaire, l'abondance de l'anhydride carbonique libre étant sous la dépendance de ces derniers ; leur minéralisation est comprise entre 3 et 9 gr. par litre, et leur pH est légèrement acide ou très voisin de la neutralité (6, 4 à 7, 2).

3° *Sulfatées calciques ou chlorosulfatées sodiques et calciques* (Saint-Gervais, Allevard, Uriage, Salins-Moutiers, Brides, Vittel, Contrexéville), fréquemment atteintes par des phénomènes de réduction qui leur confèrent un caractère sulfureux ; leur minéralisation, liée à la présence de formations gypseuses et salifères du Trias et du Jurassique inférieur (Lias), peut atteindre 15 à 18 grammes par litre.

Le tableau II, dont on a exclu l'aluminium et le strontium pour les motifs déjà indiqués, énumère les éléments dans l'ordre de leur fréquence, les stations et par conséquent les sources étant groupées par catégories conformément à ce qui vient d'être dit. On voit immédiatement que la richesse en éléments « spectrographiques » des eaux des deux premières catégories, dont la minéralisation est empruntée à des roches endogènes du type batholithique ou du type volcanique, est à la fois beaucoup plus grande et beaucoup plus régulière que celle des eaux, même thermales, dont la minéralisation est enlevée à des formations sédimentaires.

D'autre part, si l'on tient compte du contraste existant entre la faible quantité des substances dissoutes dans les sulfurées sodiques et la forte salinité des bicarbonatées et chlorobicar-

TABLEAU II

Répartitions des éléments « spectrographiques »
dans les diverses eaux thermominérales.

	Ag	Sn	Cu	Pb	Ge	Cr	Mo	Ti	Sb	Gl	Zn	Ga	Ba	Ni	V	Wo	Bi
<i>es-Thermes :</i>																	
erie	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	
ignol sup...	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	
Sulfureuse..	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	
es	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	
<i>erets :</i>																	
r.....	+	+	+		+	+	+	+			+	+				+	+
Raillière....	+	+	+		+	+	+	+			+	+				+	+
<i>y :</i>																	
nel.....	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+			+	+	+
ital.....	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+			+	+	+
<i>at :</i>																	
énie	+	+	+	+	+	+	+			+	+		+				
r.....	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+				
t-Victor....	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		+	
t-Mart.....	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+		+		
<i>el-Guyon :</i>																	
se	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+			
er II.....	+	+	+	+	+		+	+	+	+			+	+			
nne.....	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+			
er V.....	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+			
<i>t-Gervais :</i>											+						
ard.....	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+		+		+	+
ge.....	+		+		+			+									
<i>s-Moutiers :</i>																	
de Source..	+	+	+	+	+	+					+	+		+			+
e Source...	+	+	+	+	+	+					+	+		+			+
<i>l :</i>																	
de Source..		+		+		+	+	+									
r.....	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+					
c.....	+	+	+	+			+										
riale.....	+	+	+	+	+	+	+		+								+
<i>rexéville :</i>																	
llon.....	+	+	+	+	+	+		+	+								
ler.....	+	+	+	+		+	+	+	+		+						+
es (Hybord).	+	+		+				+									

bonatées sodiques, on peut tenir pour assuré que les premières renferment les éléments décelables au spectrographe non seulement en nombre un peu plus élevé, mais surtout en quantités nettement plus grandes que les secondes. S'il n'était pas ainsi, l'expérimentateur se trouverait, dans le cas des sulfurées sodiques, devant la difficulté signalée p. 208 : proportion de l'élément recherché inférieure à sa limite de sensibilité spectrale. Ce seraient donc les bicarbonatées et les chlorures bicarbonatées qui se trouveraient favorisées en ce qui concerne la fréquence apparente.

On peut alors se demander pourquoi les sulfurées sodiques viennent au premier rang par la fréquence et par la richesse en éléments qu'on peut appeler rares eu égard à leur très faible abondance relative dans l'écorce terrestre : on a vu dans le tableau I qu'elle est inférieure à 0,005 % pour les deux tiers de ces éléments. L'explication paraît devoir être fournie par trois faits concomitants :

- a) alcalinité élevée des eaux du type sulfuré sodique ;
- b) existence, dans l'écorce terrestre, de la plupart des éléments en question sous la forme de sulfures simples ou complexes et de sulfosels ;
- c) solubilité accrue, en milieu alcalin, d'un grand nombre de sulfures et de sulfosels.

En ce qui concerne le premier fait, nous rappellerons que l'alcalinité des eaux sulfurées sodiques y favorise le passage à l'état pseudodissous de quantités importantes de silice, enlevées soit aux quartz, soit aux aluminosilicates alcalins ou calcosodiques, soit enfin à des produits d'altération. Cette silice peut jouer le rôle d'adsorbant pour un grand nombre d'ions lourds, qui la suivent au cours de l'évaporation et des fractionnements.

Le deuxième fait est bien connu en minéralogie. Nous avons cependant jugé utile de donner une liste de minéraux sulfurés correspondant aux éléments « spectrographiques », liste qui n'a pas la prétention d'être complète, et qui devra être révisée.

Antimonite, Sb_2S_3	Millerite, NiS
Bismuthinite, Bi_2S_3	Polydymite, Ni_4S_5 ?
Tetradymite, Bi_4TeS_3	Beyrichite, Ni_3S_4 ?
Antisérite, $(\text{Bi}, \text{Te}) (\text{S}, \text{Se})$?	Daubréelite, $\text{FeS}.\text{Cr}_2\text{S}_3$
Molybdénite, MoS_2	Chalcopyrite, CuFeS_2
Matronite, VS_2	Stannite, $(\text{Fe}, \text{Sn}) \text{S}_2\text{Cu}_2\text{S}$
Argentite, Ag_2S	Teallite, $\text{PbS}.\text{SnS}_2$?
Galène, PbS	Corynite, $\text{Ni}(\text{As}, \text{Sb})\text{S}$
Agularite, $\text{Ag}_2 (\text{S}, \text{Se})$	Ullmannite, $\text{NiS}_2.\text{NiSb}_2$
Chalcolite, Cu_2S	Kallilite, $\text{NiS}_2.\text{NiBi}_2$
Chalmersite, $\text{Cu}_2\text{S}.\text{Fe}_4\text{S}_5$?	Kermesite, $2\text{Sb}_2\text{S}_3.\text{Sb}_2\text{O}_3$
Trohmeyerite, $(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S}$	Voltzite, $4 \text{ZnS}.\text{ZnO}$
Ternbergite, Ag FeS_3	Livingstonite, $\text{HgS}.\text{Sb}_2\text{S}_3$
Phalerite, ZnS	Guejarite, $\text{Cu}_2\text{S}.\text{Sb}_2\text{S}_3$
Antlandite, $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{S}$	Chivialite, $2 \text{PbS}.\text{Sb}_2\text{S}_3$
Covellite, CuS	Cuprobismuthite, $3 \text{Cu}_2\text{S}.$
Wurtzite, ZnS	$4 \text{Bi}_2\text{S}_3.$

Il est très vraisemblable que ces minéraux (auxquels il faudrait ajouter les sulfures et les sulfosels du germanium) existent simultanément sous la forme dispersée et sous la forme monominérale, mais que la masse totale représentée par la première est beaucoup plus importante que celle des filons. Elle semble d'autre part se prêter à un entraînement plus facile par voie hydrothermale, si les formations contenant les minéraux dispersés se prêtent elles-mêmes à la circulation suffisamment rapide de volumes d'eau considérables. De ce point de vue, les discontinuités d'ordre pétrographique (surfaces de contact) ou tectonique (surfaces de chevauchement, failles et diaclases), qui peuvent affecter des roches quelconques, et la texture orientée, pouvant aller jusqu'à la fissilité, de nombreuses roches ayant subi des efforts mécaniques intenses, suppléent à la perméabilité qui fait défaut à la quasi-totalité des formations magmatiques et à de nombreuses formations sédimentaires.

LA MENDIPITE DE LANGBAN. VERMLAND, SUÈDE

PAR J. GOÏ ET C. GUILLEMIN,

Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Sommaire. — Dans cette courte note, les auteurs montrent l'existence de la mendipite, oxychlorure de plomb, dans le célèbre gîte métasomatique de Langban.

L'un de nous, continuant une étude systématique des phosphates et arsénates plombifères ou cuprifères, fut amené à s'intéresser à une espèce rare, trouvée en Suède : l'ekdémite chloroarsénite de plomb ($\text{Pb}_6\text{As}_2\text{O}_7\text{Cl}_4$).

Sur un échantillon de cette espèce, provenant de LANGBAN et procuré par WARDS à M. le colonel VÉSIGNÉ, qui nous l'avait obligeamment prêté, nous fûmes étonnés de ne pouvoir mettre l'arsenic, en évidence, par voie microchimique. Un examen optique révéla un minéral biaxe, ce qui le différenciait nettement de l'ekdémite, uniaxe.

Une étude, plus poussée, nous montra qu'il s'agissait en réalité de la mendipite, oxychlorure de plomb, de formule $\text{Pb}_3\text{O}_2\text{Cl}_2$. Ce minéral rare n'était connu que dans deux gisements, MENDIPS HILLS, SOMERSETSHIRE. GRANDE-BRETAGNE et la mine KUNIBERT, BRILON, WESTPHALIE. ALLEMAGNE.

Description du minéral.

La mendipite forme une couche mince, lamellaire, d'un demi-millimètre d'épaisseur à la surface de la gangue, formée de calcite, téphroïte et jacobsite.

Propriétés physiques.

Couleur gris vert, tachée de jaune. Translucide en petits fragments. Clivage très net avec éclat nacré de la face de clivage.

Dureté : 2,5. Densité : $7,16 \pm 0,02$.

Propriétés optiques.

Biaxe positif. Extinction droite. Signe d'allongement positif. L'angle $2V$ est proche de 80° . Les indices sont les suivants :

$$n_p : 2,24 ; n_m : 2,28 ; n_g : 2,31 \pm 0,1.$$

Propriétés chimiques.

Nous n'avons pu effectuer l'analyse quantitative, faute de matière ; l'analyse qualitative montre seulement la présence de chlore et de plomb, avec des traces de manganèse et de calcium, provenant certainement de la gangue.

L'analyse spectrographique ne montre que de faibles traces d'arsenic.

Au tube fermé, le minéral décrépité et jaunit, puis il fond en un liquide jaune, avec émission de vapeurs blanches de chlorure de plomb qui se dépose sur les parties froides du tube.

Étude aux rayons X.

Les diagrammes de Debye-Scherrer de la mendipite de Langban et de la mendipite de Brilon, sont identiques :

MENDIPITE BRILON	MENDIPITE LANGBAN
(Cu $K\alpha$)	(Cu $K\alpha$)
d (\AA°)	d (\AA°)
7,45 mF	7,45 mF
5,04 m	5,04 m
4,16 f	4,13 f
3,80 mF	3,81 mF
3,52 mF	3,51 m
3,06 F	3,06 mF
2,89 F	2,90 F
2,78 mF	2,78 m
2,70 f	2,70 f
2,63 mF	2,63 mF
2,47 f	2,46 f

MENDIPITE BRILON

MENDIPITE LANGBAN

2,09 m

2,40 fm

—

2,02 ff

1,87 ff

1,88 ff

1,73 ff

—

1,65 f

1,65 f

1,61 ff

1,61 ff

1,54 f

1,54 f

Conclusion.

La mendipite existe donc à LANGBAN. Il est intéressant d'ajouter ce minéral à la liste déjà fort longue des espèces de c
gîte.

Référence.

Dana's System of Mineralogy, t. II, p. 57, 1952.

REVUE DES ESPÈCES MINÉRALES NOUVELLES

PAR C. GUILLEMIN,

Laboratoire de minéralogie de la Sorbonne (Paris)

ET F. PERMINGEAT,

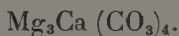
Service géologique du Maroc (Rabat).

ABBREVIATIONS UTILISÉES :

<i>Chim.</i> propriétés chimiques.	<i>Gis.</i> gisements.
<i>Crist.</i> — cristallographiques.	<i>Obs.</i> observations.
<i>Disc.</i> discussion.	<i>Opt.</i> propriétés optiques.
<i>Étym.</i> étymologie.	<i>Phys.</i> — physiques.

HUNTITE

G. T. FAUST. — Huntite, $\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{CO}_3)_4$, a new mineral. —
Am. Min., 38, p. 4-24, 1953.



Crist. — Orthorhombique. P. $a = 5,663$, $b = 9,020$,
 $c = 8,514$ Å, $Z = 2$: données obtenues à partir du spectre
de poudres.

Phys. — Masses poreuses, apparence crayeuse, cassure
plate ou conchoïdale, se désagrège dans l'eau, happe à la
langue, se raye à l'ongle. Au microscope électronique, appa-
raissent formées de cristaux aplatis de l'ordre du micron.
 $T = 2,696$ à 4° C. Non fluorescent. La courbe d'analyse ther-
mique diffère de celles de la calcite, de la giobertite, de la
dolomie et des mélanges de ces minéraux ; elle présente un
crochet endothermique à 644° et un autre à 901° .

Opt. — Blanc. Éclat mat. Poussière blanche. Biréfrin-
gence très forte.

Chim. — Infusible. Effervescence vive dans les acides.

Analyse par R. E. STEVENS d'un échantillon d'Ala Mar :

MgO	34,09
CaO.....	15,42
MnO.....	0,001
H ₂ O—.....	0,47
H ₂ O+.....	0,86
CO ₂	48,85
SiO ₂	0,06
Total	<u>99,75</u>

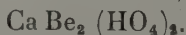
En outre, Al, Fe, Ti, S, Ba : néant; des traces de ces éléments ainsi que de Sr et B ont été repérées par spectrographie.

Gis. — Trouvée dans les dépôts de giobertite d'Ala Mar de Nevada Magnesite et de Snowball, situés dans la région de Currant Creek qui s'étend sur les White Pine et Nye Counties, Nevada, U. S. A. Elle s'est déposée avec de la calcite dans des cavités au cours de l'altération superficielle d'une roche, formée de : giobertite, dolomite et deweylite, avec : quartz, calcédoine et opale, qui, elle-même, provient de l'action de solutions hydrothermales sur un tuf volcanique altéré.

Étym. — Dédicée à W. F. HUNT, professeur à l'Université de Michigan.

HURLBUTITE

M. E. MROSE. — Hurlbutite, Ca Be₂ (PO₄)₂, a new mineral. — (*Prog. Abst. Min. Soc. Am.*, p. 19, 1951). — *Am. Min.*, 37, p. 931-940, 1952.



Crist. — Orthorhombique holoèdre. Pmmm. $a = 8,29$, $b = 8,80$, $c = 7,81$ Å, $Z = 4$. Cristaux courts : (001) et (110) dominantes, (201) et (010) fréquentes, (101) rare. Les angles mesurés et calculés sont donnés. Le spectre de poudres est comparé à ceux de la béryllonite et de la herdélite.

Phys. — En cristaux. Pas de clivage. Cassure conchoïdale. Fragile. Dureté : 6. $d = 2,877 \pm 0,005$ (mesurée), 2,88 (calculée). Difficilement fusible. Non fluorescente.

Opt. — Incolore à blanc verdâtre; jaune en surface par altération. Transparente à translucide. Éclat vitreux à gras. Biaxe négatif avec $2V = 70^\circ$. Dispersion faible : $r > v$. $n_p = 1,595$, $n_m = 1,601$, $n_g = 1,604$ à $\pm 0,003$. n_p sur b , n_m sur c , n_g sur a .

Chim. — Très lentement soluble dans les acides. *Analyse* d'un cristal par F. A. GONYER :

CaO.....	21,84
BeO	21,30
P ₂ O ₅	56,19
Insol.....	0,76
Total.....	100,09

En outre, par spectrographie, présence de Si, Al, Na, Sr.

Gis. — Trouvée par J. WEISS-FRONDEL dans du quartz légèrement enfumé de la pegmatite de la mine Smith, à Chandler's Mill, Sullivan County, région de Newport, New Hampshire, U. S. A. La pegmatite est formée essentiellement de quartz et d'albite avec muscovite et tourmaline noire, et, comme minéraux accessoires : triphylite, béryllonite, brazilianite, amblygonite, apatite et sidérose. Des pseudomorphoses de sidérose ont été observées.

Étym. — Dédiée à C. S. HURLBUT JR., professeur de minéralogie à la *Harvard University*.

Obs. — Ce nom a déjà été utilisé pour la wurtzite — 4H (Cf. *B. S. fr. Min. Crist.*, 75, p. 324, 1952), mais cette signification, attribuée sans aucune raison valable, doit être rejetée.

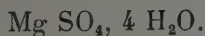
F. P.

LEONHARDTITE

W. BERDESINSKI. — Sanderit, Leonhardtit, Allenit, und Hexahydrit, neue Mineralien der marinen Kalisalzlagertstätten.

— *Neues Jahrb. Min. Monatsh.*, p. 28-9, 1952.

J. LEONHARDT-W. BERDESINSKI. — Ueber die Effloreszenz der Kieserits in Salzbergwerken. — *Z. anorg. allg. Chem.*, 265, p. 284-7, 1951.



Cette espèce a été trouvée, avec d'autres sulfates de magnésium hydratés, dans les puits Hansa I et Niedersachsen, près de Hanovre. Elle provient de l'efflorescence de la kieserite SO_4Mg , H_2O , dans des galeries situées entre 600 et 700 mètres de profondeur.

Le minéral naturel a été comparé au produit artificiel, du point de vue optique et structural.

Étym. — Dédiée à J. LEONHARDT, cristallographe et pétrographe allemand.

Disc. — L'étude de cette nouvelle espèce est incomplète car il manque une description des formes et autres caractères physiques.

Le nom de leonhardtite a déjà été employé pour une zéolite qui s'est révélée être une variété de laumontite ; il risque de se produire des confusions.

C. G.

NICKEL-ASBOLANE

S. DIMITROW. — Chromhaltige Tonminerale und Nickel-asbolan in der Umgebung von Nevrokop. — *Ann. Univ. Sofia. Fac. phys. math.*, Livre 3. Sciences natur., vol. 38, p. 207-26, 1941-42.

Phys. — Le minéral se trouve en petits nodules d'aspect terreux ou en poudre fine.

Chim.

SiO_2	40,85
Al_2O_3	17,16
Cr_2O_3	0
Fe_2O_3	11,00
MnO	10,05
NiO	3,58
CoO	2,93
H_2O	13,91
Total.....	99,48

Gis. — Le minéral se trouve avec des argiles chromifères, dans des filons de serpentine, situés dans les roches méta-

morphiques du Pirin, au sud-est de Névrokop. On trouve aussi dans ces serpentines, différentes sortes d'opales.

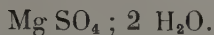
Disc. — Étude incomplète, l'analyse chimique ne donne aucunement à penser que l'on se trouve en présence d'asbothane, qui d'ailleurs ne représente elle-même qu'une variété de wad.

C. G.

SANDERITE

W. BERDESINSKI. — Sanderit, Leonhardtit, Allenit und Hexahydrit, neue Mineralien der marinen Kalisalzlagertstätten. — *Neues Jahrb. Min. Monatsh.*, p. 28-9, 1952.

J. LEONHARDT-W. BERDESINSKI. — Ueber die Effloreszenz der Kieserits in Salzbergwerken. — *Z. anorg. allg. Chem.*, 265, p. 284-7, 1951.



Cette espèce a été trouvée dans les mêmes conditions que la leonhardtite, elle provient de l'efflorescence de la kieserite.

Le minéral naturel a été comparé au produit artificiel, du point de vue optique et structural.

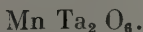
Étym. — Dédiée à BRUNO SANDER, dont la méthode a été appliquée à l'étude structurale des gîtes salifères.

Disc. — L'étude de cette nouvelle espèce est incomplète.

C. G.

ESPÈCE MINÉRALE SANS NOM SUPPOSÉE NOUVELLE

A. M. MACGREGOR. — Simpsonite and other tantalates from Bikita, Southern Rhodesia. — *Min., Mag.*, 27, p. 157-65, 1946.



Phys. — Le minéral se trouve en agrégats arrondis ou en nodules formés de cristaux aciculaires. De petits cristaux d'un millimètre environ ont la forme d'octaèdres aplatis, présentant souvent des macles polysynthétiques. Dureté : 7. Densité : 7,7. Clivage imparfait, fracture conchoïdale. Éclat résineux à adamantin.

Couleur brun cannelle. Poussière ocrée.

Opt. — Faible pléochroïsme. Brun jaune à vert. Biaxe positif. $2V : 34^\circ$. n_p , n_m et n_g sont plus forts que 2,06, probablement entre 2,10 et 2,40.

Chim.

Ta_2O_5	71,10
Nb_2O_5	5,04
SnO_2	2,54
SiO_2	7,20
TiO_2	tr.
ZrO_2	0
Al_2O_3	1,05
Fe_2O_3	tr.
FeO	0,69
MnO	10,00
MgO	0,24
CaO	1,34
Na_2O	0,48
K_2O	0,20
H_2O+	0,46
H_2O-	0,02
Total.....	100,36

La présence de silice, alumine et alcalins peut être expliquée par des impuretés de quartz et de mica, l'étain venant de la cassitérite. Il semble que calcium, fer et magnésium, peuvent remplacer en partie le manganèse, ce qui correspond à une formule $MnO \cdot Ta_2O_5$, une partie du tantale pouvant être remplacée par le niobium.

Gis. — Se trouve dans le greisen du placer Al Hayat, dans le gîte d'étain de Bikita, dans le sud-est de la Rhodésie du Sud.

Obs. — L'auteur pense que l'on se trouve en présence d'une manganotantalite monoclinique.

C. G.

NOUVEAUX NOMS

METABAYLEYITE

T. W. STERNE et A. D. WEEKS. — Second occurrence of bayleyite in the United States. — *Am. Min.*, 37, p. 1058-1060, 1952.

Nouveau nom cité sans aucune description.

F. P.

ESPÈCES MINÉRALES DISCRÉDITÉES

« CERVANTITE » }
« ARSENOTIBITE » } = STIBICONITE

C. J. VITALIANO et B. MASON. — Stibiconite and cervantite.
— *Am. Min.*, 37, p. 982-999, 1952.

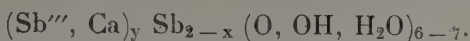
Crist. — Cubique. Structure du type pyrochlore. $a = 10,26$ à $10,27$. Les données des spectres de poudres sont discutées.

Phys. — Massif, terreux, à grain très fin généralement non résolu au microscope électronique. $d = 3,3$ à $5,5$. Dureté : 3 (?) à 7, croît avec la densité. Ces grandes différences sont attribuées aux variations de composition. Les courbes d'analyse thermique montrent : un crochet endothermique au-dessous de 200° correspondant à la déshydratation qui se poursuit jusqu'à 750° , un dôme exothermique entre 425° et 490° et un crochet exothermique aigu au-dessus de 925° indiquant la transformation en CaSb_2O_6 (hexagonal).

Opt. — Blanc de craie à jaune pâle, orangé, gris noir (quand elle est mêlée de tripuhyte). Translucide à trouble. Isotrope. $n = 1,621$ à $2,047$.

Chim. — Les compositions chimiques de nombreux échantillons de « cervantite » et de stibiconite provenant principalement du Mexique, mais aussi d'Espagne, de Chine, des U. S. A., d'Algérie, etc... sont comparées. Huit nouvelles analyses sont données. La teneur en Sb varie de 50 à 80 % environ. Il y a toujours de l'eau de constitution : 1,63 à 9,20 % et du calcium : jusqu'à 10 % et plus. La valentinite et le quartz sont très fréquents comme impuretés. Fe, Al, Mg existent ($< 1\%$) dans la plupart des échantillons. Les grandes différences de composition sont expliquées par des lacunes dans la structure, qui est fixée par une charpente

rigide d'oxygène dans les interstices de laquelle se logent les cations en nombre variable. La formule générale est :



y peut atteindre théoriquement 2 mais reste généralement au-dessous de 1. x varie de 0 à 1. As peut remplacer partiellement Sb, donnant l'*arsenostibite* avec Sb : As = 3 : c'est une variété de stibiconite.

Obs. — La *roméite* se trouve incluse dans cette définition mais sa position exacte n'a pas été étudiée.

Gis. — Produit typique d'altération de la stibine. Souvent très intimement mêlée de valentinite.

Étym. — *Stibiconite* (F. S. BEUDANT, 1832) a priorité sur *cervantite* (DANA, 1854) dont la définition (Sb_2O_4) était erronée, et sur *arsenostibite* (= *arsenstibite*) (M. ADAM, 1869).

F. P.

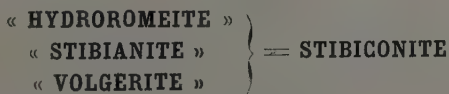
« GUADARRAMITE » = ILMENITE

G. SWITZER. — Guadarramite discredited. — *Am. Min.*, 37, p. 1061, 1952.

Étym. — Variété d'ilménite radioactive du Monte de Lagasca, Sierra de Guadarrama, Segovia, Espagne, décrite en 1906 par J. MUNOZ DEL CASTILLO.

Étude. — Sur échantillon de la localité-type. La radioactivité provient de petits cristaux de monazite épars dans le feldspath associé à la « guadarramite ». Celle-ci n'est pas radioactive, elle a la même composition et le même spectre de poudres que l'ilménite.

F. P.



C. J. VITALIANO et B. MASON. — Stibiconite and cervantite. *Am. Min.*, 37, p. 982-99, 1952.

Étym. — *Hydroromeite*. — G. NATTA et M. BACCAREDDA (1933). *Volgerite*. — J. D. DANA (1854). *Stibianite*. — E. GOLDSMITH (1878).

Étude. — Ces minéraux sont de la stibiconite mélangée ou non à de la valentinite et du quartz (cf. « *cervantite* », ci-dessus).

F. P.

« **BARCENITE** »

« **RIVOTITE** »

« **STIBIOFERRITE** »

C. J. VITALIANO et B. MASON. — Stibiconite and cervantite. — *Am. Min.*, 37, p. 982-999, 1952.

Étym. — *Stibioferrite* (= *stibiaferrite*). — E. GOLDSMITH (1873). *Rivotite*. — X. DUCLOUX (1874). *Barcenite*. — J. W. MALLET (1878).

Étude. — La *stibioferrite* est un mélange grossier de bindheimite et de jarosite ; la *rivotite*, un mélange intime de malachite et de stibiconite ; la *barcenite*, un mélange intime de stibiconite et de cinabre.

F. P.

ESPÈCES DONT LA VALIDITÉ EST MISE EN DOUTE

MÉTA-URANOPILITE

C. FRONDEL. — Studies of uranium minerals (X) : Uranopilite. — *Am. Min.*, 37, p. 950-959, 1952.

Étym. — *Béta-uranopilite*. — R. NOVÁČEK (1935), transformé en *méta-uranopilite* (Cf. *B. Soc. fr. Min. Crist.*, 75. p. 615, 1952).

Étude. — Un échantillon de Jachymov (Joachimsthal) a donné le spectre de la becquerelite. En outre, aucun des nombreux échantillons d'uranopilite examinés ne montre de méta-uranopilite ; par déshydratation artificielle on n'obtient pas de méta-uranopilite ; il est probable que la déshydratation naturelle ne donne que de la becquerelite ou de la zippeite ou un mélange de ces deux minéraux.

F. P.

BIBLIOGRAPHIE

Inorganic Thermogravimetric Analysis, C. DUVAL, éditeur : Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1953, 1 vol., 531 pages, 152 figures, 155 × 235, prix : 60 s.

Pour doser gravimétriquement un élément, il faut le faire entrer dans un précipité de composition chimique définie. Les conditions dans lesquelles les précipités doivent être calcinés ou desséchés jouent donc un rôle capital qui a de tout temps retenu l'attention des chimistes. C. Duval a entrepris, depuis une dizaine d'années, une enquête systématique sur les variations de composition chimique qu'éprouvent les précipités employés en analyse, lorsqu'ils sont chauffés. Pour ce travail la thermobalance de P. Chevenard, qu'il n'est pas besoin de présenter aux minéralogistes, constitue l'appareil idéal ; les domaines de température où la composition du précipité reste constante sont marqués par un palier sur l'enregistrement poids-température donné par l'appareil.

Dans ce livre C. Duval nous présente les résultats de cette enquête qui porte sur presque un millier de précipités employés ou proposés pour le dosage des divers éléments. Après avoir rappelé dans la première partie, le principe des diverses thermobalances, l'auteur décrit en détail la thermobalance de P. Chévenard et notamment le dernier modèle à inscription graphique par plume ; on trouve, dans la seconde partie, pour chaque élément, l'étude des précipités employés pour son dosage.

Ce livre rendra de grands services à tous les chimistes ; à ceux qui ne possèdent pas de thermobalance, il montrera quelles précautions ils doivent prendre pour sécher ou calciner les précipités ; à ceux qui en sont pourvus, il montrera le meilleur usage qu'ils peuvent faire de cet appareil pour améliorer la rapidité, la commodité et la précision des dosages. A cet égard les quelques indications données par l'auteur sur le dosage simultané de plusieurs éléments par thermogravimétrie d'un seul précipité (cuivre et argent par décomposition des nitrates) sont particulièrement intéressantes.

La présentation de l'ouvrage fait honneur aux éditions Elsevier. On nous permettra toutefois de regretter que ce livre soit imprimé en anglais ; il ne nous paraît pas qu'il y ait de raison valable pour

un travail, doublement français par la technique employée et la nationalité de son auteur, soit imprimé autrement qu'en langue française.

G. SABATIER.

*
* *

Schmuck-und Edelsteinkundliches Taschenbuch, K. F. CHUDOBA et E. J. GÜBELIN, éditeur : Verlag Bonner Universitäts-Buchdruckerei, Bonn/Rhein, 1953, 1 vol., 158 pages, 27 tableaux, 2 planches en couleurs, 140 × 215, prix : DM 19.60.

Dans ce petit traité sur les pierres précieuses, les auteurs ont, dans un premier chapitre, cherché à clarifier la terminologie, qui, particulièrement en Allemagne, est très complexe dans ce domaine. Il existe couramment plusieurs noms pour la même espèce ou pour la même variété ; par exemple, la citrine, simple variété de quartz, a plusieurs dénominations, à savoir : indifféremment les dénominations suivantes, qui s'appliquent aussi d'ailleurs à l'améthyste brulée : böhmischer Topas, goldtopas, madeiratopas ; occidentalischer Topas, Palmyratopas, scottischer Topas, Topas, Topas-quartz.

D'autres chapitres sont consacrés à la terminologie minéralogique, aux gîtes de pierres précieuses, aux propriétés physiques de ces espèces minérales, en particulier, les fluorescences dans l'ultraviolet, les spectres d'absorption, les densités, les indices de réfraction.

Un chapitre important montre les différences entre pierres naturelles et artificielles ; enfin des tableaux, très bien conçus, donnent les principales propriétés de ces minéraux.

Deux planches en couleurs, bien réalisées, illustrent ce livre qui, destiné aux joailliers, peut leur rendre de grands services, en leur permettant de déjouer la plupart des fraudes.

C. GUILLEMIN.

*
* *

Sir Douglas Mawson Anniversary volume, Contributions to Geology in honour of Professor Sir Douglas Mawson's 70 th birthday anniversary presented by colleagues, friends and pupils ; édité par M. F. GLAESSNER et E. A. RUDD ; Barr Smith Library, University of Adelaide, Adelaide, Australie, 1952, 1 volume, 224 pages, 48 figures, 18 tableaux, 190 × 250, prix : 30 shillings (Aust.).

Cet attrayant volume est une résultante de l'effort des élèves, amis et collègues du professeur Mawson. Il contribue à la connaissance de la géologie si particulière de l'Australie.

On peut partager ce travail en deux parties : l'une expose les résultats de recherches géologiques de l'Australie, l'autre moins importante, touche les questions minéralogiques du pays. En effet A. R. Alderman étudie l'obtention de la forstérite (Mg^2SiO_4) réfractaire à haute température ($1.450^{\circ}C$) à partir du talc (du Mont Fitton) additionnée d'oxyde de magnésie calcinée.

D. R. Bowes suit les transformations migmatiques des quartzites du Mont Fitton du point de vue minéralogique et chimique, tandis que W. B. Dallwitz présente une note relative aux minéraux du glauconie ayant un faible indice de réfraction (Australie du Sud et Victoria).

A. W. Kleeman étudie les angles d'extinction des pyroxènes et amphyboles monocliniques ; d'autre part, C. E. Tilley indique la paragenèse de la néphéline.

Le métamorphisme thermique des mines de charbon, la géologie du Port de Moresby, l'uraninite de Rum Jungle et d'autres articles intéresseront les minéralogistes.

C. KURYLENKO.

*
* *

Zur Struktur und Materie der Festkörper. Diskussionstagung der Sektion für Kristallkunde der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft am 1/2. Mai 1951 in Frankfurt, M., éditeur : Springer-Verlag, Berlin, 1952, 1 volume, 304 pages, 95 figures, 140×210 mm, prix : DM. 28.60,

Ce recueil est le compte rendu d'un colloque de la section de cristallographie de la Société allemande de Minéralogie (Frankfurt, 1-2 mai 1951). Il contient, outre une introduction de H. O'Daniel, huit articles :

- P. NIGGLI. Étude phénoménologique de la symétrie et son application à l'espace cristallin et aux espaces de Fourier et de Patterson.
- C. HERMANN. Groupes de translation dans un espace à n dimensions ;
- O. KNACKE, I. N. STRANSKI, G. WOLFF. Croissance des cristaux à partir de la phase vapeur ;
- W. KOSSEL. Observation sur des sphères monocristallines : une nouvelle méthode d'étude des phénomènes de surface ;
- H. JAGODZINSKI. Désordre coopératif dans les cristaux ;
- R. HOSEMANN. Le caractère statistique de la structure fine des substances macromoléculaires et des colloïdes ;
- A. SMEKAL. Sur les conditions d'existence des états vitreux ;

H. WITTE. Influence des zones de Brillouin sur les propriétés physico-chimiques des alliages.

Chaque exposé est accompagné d'un résumé de la discussion qu'il a suscitée.

L'ensemble donne une idée exacte des principaux sujets de cristallographie étudiés dans les pays de langue allemande. L'article le plus détaillé est celui de R. Hosemann (96 pages) et il est très réable de trouver réunis en une publication la matière de nombreux articles parus dans divers périodiques. On y trouve, exposée brièvement, la théorie du « paracristal », et un essai de synthèse portant sur les divers aspects des diagrammes de diffusion des rayons X par les macromolécules et les colloïdes. La discussion qui suit est animée par O. Kratky.

H. CURIEN.

*
**

An advanced treatise on physical chemistry, vol. 3, The properties of solids, par J. R. PARTINGTON, éditeur : Longmans, Green and Co, Londres, 1952, 1 vol., 639 pages, 220 figures, 20 tableaux 155 × 255, prix 70/-n.

Ce livre est le troisième volume d'un traité complet de chimie physique (le premier volume est consacré aux gaz et le deuxième aux liquides).

Les chapitres principaux portent sur les propriétés générales des cristaux, les réseaux cristallins, l'isomorphisme, la densité, les propriétés élastiques, les tensions et la cohésion, la dureté, l'énergie superficielle, la viscosité, la dilatation thermique, la chaleur spécifique, les théories de l'état solide (théorie de Debye, de Born,...), la conductibilité thermique, la fusion. L'ouvrage se termine par un appendice mathématique (80 pages) sur les vecteurs et les tenseurs, les fonctions de variabilité complexes et le calcul des variations.

L'ouvrage est un monument d'érudition : il comporte 15.511 références (parmi lesquelles 5.501 aux travaux allemands, 3.671 aux travaux américains, 2.751 aux travaux anglais, 1.246 aux travaux français). Le texte est clair et agréable à lire et sur la plupart des sujets, le livre est loin d'être une simple compilation. Le traité garde aussi un côté pratique qui le rend fort utile aux expérimentateurs : il abonde en schémas d'appareils, en tables de constantes numériques, en formules empiriques. La présence d'un long appendice mathématique à la fin de l'ouvrage ne me paraît cependant pas très justifiée, bien que l'auteur le défende avec énergie dans la

préface : il ne manque pas de traités mathématiques où ces sujets soient exposés clairement, même pour des chimistes non initiés aux raffinements de l'analyse mathématique.

Le traité sera complété par un quatrième tome, à paraître, qui portera sur les propriétés optiques et électriques des solides. Il constitue dès maintenant une œuvre monumentale et unique.

Tous les physico-chimistes le consulteront avec fruit.

H. CURIEN.

*
* *

Elements of optical mineralogy, Part 2 : Description of minerals
A. N. WINCHELL et H. WINCHELL ; éditeur : J. Wiley, New-York
1951, 4^e édition, 1 volume, 551 pages, 427 figures, 150 × 235
prix : \$ 12.50.

La première partie de cet ouvrage est consacrée à l'étude des principes et des techniques d'optique cristalline ; la deuxième est constituée par des tables de détermination des minéraux basées sur leurs caractères optiques.

Un chapitre d'introduction rappelle la construction et la lecture des différents types de diagrammes et de projections.

Les propriétés optiques de chaque espèce minérale sont étudiées avec le maximum de détails, et l'ouvrage de Winchell est certainement l'un des plus complets sur ce sujet. Toutes les propriétés optiques des séries sont représentées par des diagrammes (environ 170) d'une présentation parfaite. Les schémas d'orientation optique, trop rares dans la plupart des traités de minéralogie, sont nombreux (on en compte plus de 150), et aident largement à la compréhension du texte.

Les silicates, dont l'étude occupe plus de la moitié de l'ouvrage, sont classés selon la méthode de Strunz et Fleischer, basée sur le mode de groupement des tétraèdres SiO_4 .

On a ainsi les 6 classes : nésosilicates, sorosilicates, cyclosilicates, inosilicates, phyllosilicates, tectosilicates.

Les séries classiques : feldspaths, micas, chlorites, pyroxènes, amphiboles, olivines, zéolites, grenats, tourmalines sont étudiées en détail, et les chapitres qui s'y rapportent font la synthèse de toutes les mesures optiques et de tous les diagrammes qui servent au minéralogiste et au pétrographe. De nombreuses figures montrent la correspondance entre la cristallographie géométrique et les directions optiques caractéristiques.

Signalons que quelques projections stéréographiques auraient pu compléter l'étude de certains silicates.

Pour chaque minéral, les auteurs donnent la composition, la structure, les caractères physiques, les propriétés optiques (qui constituent la partie la plus importante de la description), les principaux gisements, et une abondante bibliographie.

Modèle de clarté et de précision, l'ouvrage de Winchell est avant tout un instrument de travail duquel le minéralogiste et le géographe tireront le plus grand profit.

G. BRANCHE.

ERRATUM

Bulletin 1-3 (1953), t. LXXVI, p. 123, dernière ligne.

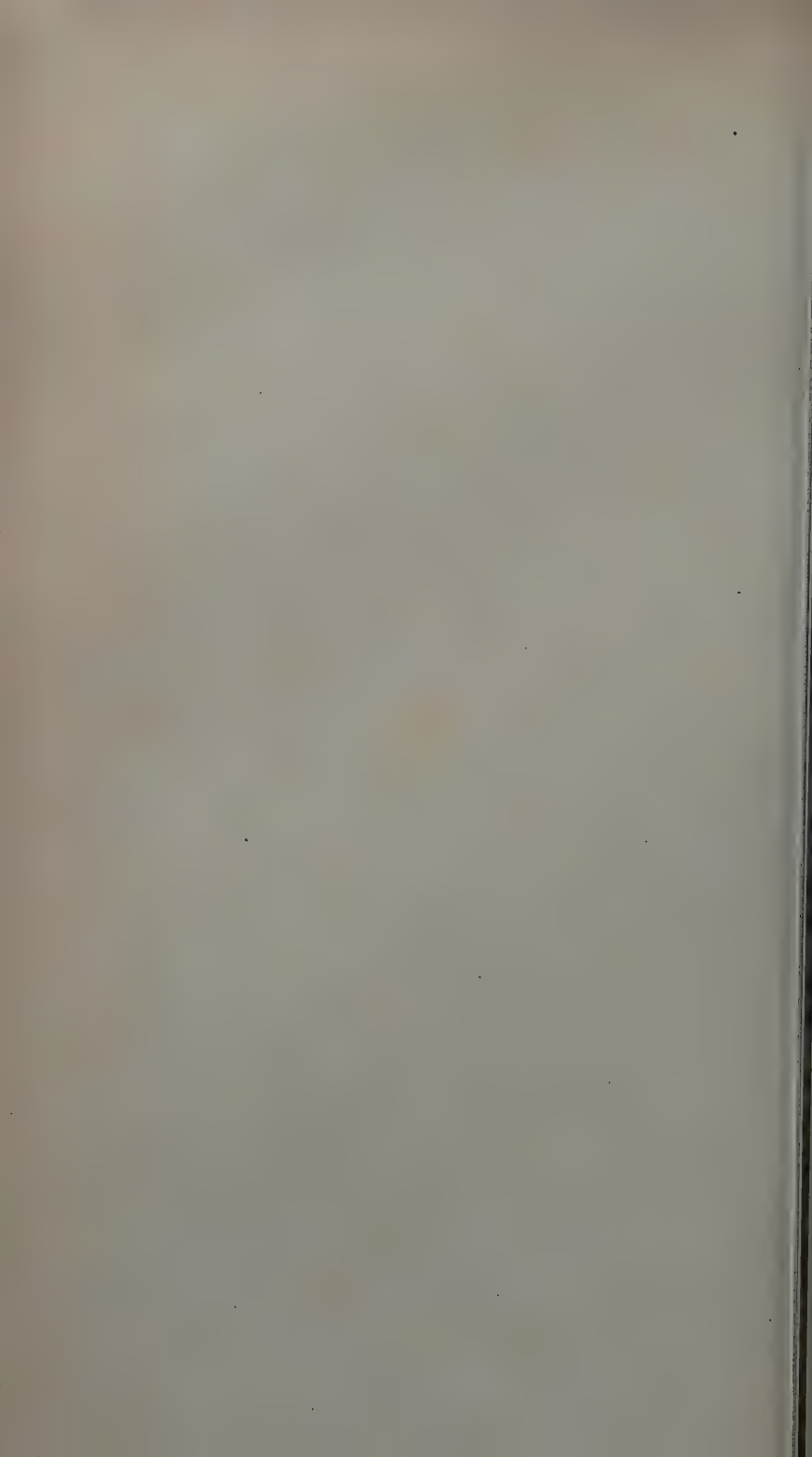
Au lieu de :

groupe correspondant à D_3^2 ,

lire :

groupe correspondant à D_{3h}^2 .

Le secrétaire-gérant : A.-J. ROSE.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1953. — BULLETIN DE JUILLET-SEPTEMBRE.

REPRODUCTION ARTIFICIELLE DE MINÉRAUX QUI APPARAISSENT DANS LE MÉTAMORPHISME DE CONTACT DU GRANITE

PAR M^{me} MIREILLE CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY.

Sommaire. — Reproduction artificielle entre 360 et 700° sous pression et vapeur d'eau, de quelques minéraux silicatés : micas, tourmalines, grenats ferro-manganésifères, feldspaths. Rôle de la composition chimique, de l'eau, de la température, de la pression de vapeur, des minéralisateurs.

INTRODUCTION

Je résumerai dès l'abord l'objet de ce travail : la reproduction artificielle de minéraux qui apparaissent dans les roches de contact conduisant au granite des faibles profondeurs ; leur identification à l'aide du microscope polarisant et des diagrammes de rayons X.

L'étude descriptive des roches est une science développée et précise, mais l'hypothèse joue un rôle important dans l'interprétation de leur mode de formation.

Les premiers essais expérimentaux en vue de reproduire des roches et leurs minéraux, montrèrent des différences fondamentales entre roches basiques et roches acides. On pouvait reproduire les premières dans tous leurs détails par fusion et recuit de leurs verres ou de mélanges chimiques appropriés, ce qui fut impossible avec les roches acides. On en était donc réduit à la seule observation des faits naturels. Permet-elle d'expliquer la formation des granites par des conceptions soit magmatiques, soit antimagmatiques ?

Sous quelle forme connaissons-nous les magmas ? Ce sont des mélanges de silicates fondus, de vapeur d'eau et de gaz que nous observons à l'état liquide dans le volcanisme, où le maximum de liquidité se montre dans les lacs de lave très basique des Iles Hawaï, par exemple ; dans la chaîne des Puy, se rencontrent des roches moins basiques : andésites épanchées en coulées, émises à des températures certainement élevées (plus de 1.100°). Par contre, dans les volcans de roches acides du type péléen (trachytes, dacites), les magmas sortent des fissures formant filières, dans un état encore plastique mais déjà de haute résistance comme la dent de la Montagne Pelée, éboulée en blocs éclatés donnant maintenant un cône dôme. Parfois, des parties de ces magmas acides enrichis en gaz occlus donnent lieu, lors de leur sortie, à de très brutales décompressions, d'où nuées ardentes et accumulation de matériaux pyroclastiques.

En grande profondeur, le magma acide peut être *imaginé* comme un matériel à température élevée, riche en gaz occlus sous haute pression, excessivement rigide bien que conservant une certaine plasticité, où l'état cristallin n'est sans doute plus possible. Dans les conditions physico-chimiques permettant à l'état cristallin de se constituer, on peut également imaginer que ce magma acide donne naissance aux granites dont la répartition est si vaste et l'uniformité sur de grandes espaces si grande. Mais *nous n'avons jamais vu* le passage direct magma-granite. Si nous n'avons pas d'arguments suffisants permettant de nier ce passage, nous devons le considérer actuellement comme du domaine de l'hypothèse.

Mais nous désirons nous cantonner dans des observations précises et concluantes dont le domaine idéal est celui du métamorphisme de contact, qui fut d'ailleurs celui dans lequel Aug. Michel-Lévy multiplia les premières études fécondes sur certains granites français (Saint-Léon, Flamanville). Les néogénèses de minéraux sur place, *in situ*, débutant dans les sédiments fossilifères, en milieu solide, avec réutilisation des éléments chimiques présents et apports de matériel provenant du granite formé au proche voisinage, s'observent aisément.

ans les *auréoles du métamorphisme de contact*. Dans les sédiments argileux, à distance du granite, apparaissent d'abord de petites taches régulièrement réparties, taches d'une matière souvent mal définie attribuée parfois à l'andalousite, parfois à la codiérite, très souvent transformées partiellement en séricites; ensuite la biotite naît en fines lamelles polysynthétiques, très caractéristiques, qui durcissent la roche, suppriment rapidement son clivage schisteux facile (cornes noires micacées); enfin, au voisinage immédiat du granite, c'est, avec l'apport d'alcalis, de silice, la genèse de feldspaths produisant les cornes feldspathisées; tout cet ensemble, embrassé sous le nom de métamorphisme exomorphe, conduit, par effacement total des fins éléments du sédiment originel, à de véritables microgranites, puis au granite franc; les traces de l'assimilation de certains bancs sédimentaires peuvent y être encore visibles. Ainsi le granite se charge en amphibole lorsque les bancs intéressés par le métamorphisme étaient riches en calcium et en magnésium (schiste calcarifère de Dielette donnant du granite à amphibole); il y a parfois passage à de vraies diorites (Aydat), ces phénomènes sont groupés sous le nom de métamorphisme endomorphe.

Le granite lui-même est traversé par de nombreux filons d'aplite et de pegmatite, dus à son prompt craquellement par refroidissement et retrait, avec remplissage résultant des circulations de vapeur d'eau et de gaz encore abondantes, avec parfois présence de tourmaline et d'autres minéraux caractéristiques.

Ce tableau rapidement dressé du métamorphisme de contact conduit à la notion certaine de types de granite nés en milieu solide, à faible profondeur par digestion des matériaux solides antérieurs, et circulation de vapeur d'eau et de gaz sous pression accompagnées d'un thermisme suffisant, avec destruction et reconstruction de minéraux mais sans qu'il y ait eu passage par un état fondu.

Dans le métamorphisme régional, les séries épaisses des aragneiss et des orthogneiss, conduisant aux granites d'anaxie des grandes profondeurs, ne donnent pas une telle sécu-

rité dans l'observation des néogénèses cristallines successives à cause de la complexité de phénomènes superposés qui ont pu jouer dans bien des cas, et laisse trop de place aux hypothèses : « colonnes filtrantes » de P. Termier, « ichor » de Sederholm, « front de migmatisation » de Wegmann. Le mode de migration du matériel se fait-il à l'aide de fluides sous pression par les innombrables chenaux que constituent les limites de cristaux, les plans de clivages, ou bien a-t-il lieu ion par ion à travers la trame fixe d'oxygène, indépendamment des liaisons chimiques ? Ces théories variées seront peut-être vérifiables ultérieurement mais on a jusqu'ici poursuivi seulement l'objectif de réalisations par synthèses au laboratoire des minéraux qui, dans le métamorphisme de contact, se sont formés sous l'action des mêmes facteurs que ceux que nous pouvons dans une certaine mesure faire intervenir dans l'expérimentation. Ce sont les compositions chimiques initiales, les températures, les pressions de vapeur d'eau qui rentrent dans ce cas.

Le temps est celui de ces facteurs qui est le moins à notre disposition, mais d'autres nous échappent aussi : nous agissons en très petits espaces et en vase clos ; la nature a pour elle tout l'espace et l'apport constamment renouvelé de flux gazeux, elle a et le temps et bien d'autres facteurs encore.

Nous en avons tenu compte en essayant de reproduire des minéraux des auréoles granitiques qui conduisent à la composition minéralogique du granite lui-même.

Certains d'entre eux n'ont pu être reproduits ; c'est le cas pour les silicates d'alumine les plus simples, témoins d'un métamorphisme faible, ces taches de schistes tachetés et mâclifères, faites initialement de cordiérite ou d'andalousite naissante.

Par contre, séricites, micas blancs, micas noirs, feldspaths et quartz ont été reproduits ainsi que tourmaline et grenats ferro-manganésifères.

Nous avons obtenu parfois de jolis cristaux, mais le plus souvent des produits très fins identifiables seulement grâce aux diagrammes de rayons X ; ce procédé est appelé à rendre de

grands services au pétrographe, puisqu'il est applicable même aux plaques minces de roches, lève l'incertitude dans bien des cas où les propriétés optiques ne suffisent pas à le faire, et nous permet presque de « voir » à l'échelle de l'Ångström. Les essais que nous avons poursuivis viennent après ceux de beaucoup de chercheurs, qui ont employé des procédés variés; je les indiquerai brièvement maintenant.

APERÇU HISTORIQUE

Je voudrais noter ici les principales acquisitions dues aux études expérimentales, en réservant un rappel plus détaillé aux chapitres consacrés à chaque espèce cristalline étudiée par la suite.

Les expériences de synthèse peuvent être groupées en trois catégories : 1^o synthèses par voie sèche ou par fusion ignée ; 2^o synthèses par voie hydrothermale, ou plutôt en présence de vapeur d'eau sous pression, le terme « hydrothermal » comportant pour certains par opposition au terme « pneumatolytique » une limitation aux températures inférieures aux points critiques des solutions aqueuses : enfin, 3^o synthèses par réaction entre solides.

Outre les expériences dirigées, des produits artificiels d'origine industrielle tels que les briques de four, les scories de hauts fourneaux, les produits céramiques variés, les verres, les enduits de chaudières, etc..., fournissent des cristaux dont beaucoup existent aussi dans la nature. On en a tiré de précieux renseignements.

I. — Synthèses par fusion ignée.

Comme nous l'avons dit, on a pu reproduire presque tous les minéraux des roches basiques, et ces roches elles-mêmes avec leurs associations minérales. Mais l'échec a été complet en ce qui concerne les roches acides. Ces faits ont été mis en évidence par F. Fouqué et Aug. Michel-Lévy (1882) dans une série d'expériences poursuivies de 1878 à 1881 qui ont servi,

jointes aux observations de terrain, de base à la classification des roches éruptives : « Les expériences synthétiques..... permettent de tracer une démarcation tranchée entre les roches basiques que l'on reproduit dans tous leurs détails par fusion purement ignée et recuit plus ou moins prolongé et les roches acides ou intermédiaires. Dans les roches basiques, les deux premiers facteurs de la cristallisation, composition du magma, évolution de la température, agissent seuls ou presque seuls... les minéralisateurs interviennent dans la genèse des roches acides avec leur maximum d'intensité et l'évolution du refroidissement ne suffit plus pour en expliquer les diverses structures. »

Schairer, Bowen et de nombreux chercheurs, surtout de l'Institut Carnegie, reprirent de façon systématique ces expériences ; les diagrammes d'équilibre de plusieurs systèmes binaires et ternaires ont été construits et apportent des données utiles *pour les températures supérieures à 800°, à pression ordinaire.*

II. — Synthèses en présence de vapeur d'eau sous pression.

A l'époque où Fouqué et Aug. Michel-Lévy reproduisaient les minéraux par fusion ignée, C. Friedel et Sarasin réalisaient la synthèse du quartz, de l'orthose, de l'albite dans leur tube garni de platine, en présence de vapeur d'eau sous pression vers 400-500°. Là où la première méthode échouait, la seconde semblait réussir. Cependant celle-ci présentait de grandes difficultés expérimentales et, si de nombreuses synthèses furent d'abord réalisées, les expériences ne pouvaient pas toujours être répétées faute de connaître la pression de la vapeur d'eau et de garder cette pression dans des autoclaves à joints étanches. Et puis, l'eau introduit plusieurs variables supplémentaires : au-dessous de son point critique, selon le degré de remplissage, elle peut constituer deux phases, liquide et gazeuse ; elle entre en combinaison avec les phases cristallines, elle prend en dissolution des quantités inconnues de silice, d'alumine, d'alcalis, etc... ; elle corrode

la paroi des autoclaves, se chargeant de fer, de cuivre,... elle complique ainsi considérablement le problème. Aussi, des études systématiques suivies ne furent que récemment entreprises et c'est depuis 1949 seulement que sont publiés aux États-Unis des travaux sur des systèmes d'un réel intérêt pétrographique tels que $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na AlSi}_3\text{O}_8$ $\text{KAlSi}_3\text{O}_8-\text{H}_2\text{O}$; mais les études partielles de Morey, Fenner, van Nieuwenburg, Niggli, Noll, G. Friedel, Alb. Michel-Lévy, J. Wyart parmi beaucoup d'autres, nous avaient apporté déjà auparavant de nombreux renseignements.

III. — Synthèses par réaction à l'état solide.

Les premiers essais datent de Spring (1880) qui agissait par *compression* à 10.000 atm. à température ambiante ; il reproduisit plusieurs sulfures et arséniures à partir de leurs éléments, fit recristalliser de la calcite comprimée pendant 17 ans, mais il échoua avec la silice et les silicates.

Par *élévation de la température* bien en dessous du point de fusion, on obtint la forstérite (à 620° à partir de MgO et SiO_2), la wollastonite (à 660-750° avec CO_2Ca et SiO_2).

Mais la présence d'eau facilite grandement plusieurs de ces réactions : les essais de Spring étaient bien plus fructueux à partir de matériaux humides (sauf pour les diffusions de métaux massifs). G. Sabatier (1950), étudiant à nouveau la formation de forstérite et d'enstatite en chauffant des mélanges de silice et de magnésie précipitées, obtient de meilleurs résultats lorsqu'il n'a pas opéré de calcination préalable.

Ces expériences devront être multipliées ; elles permettront de savoir s'il faut réserver une place importante aux migrations de matériel à travers le réseau cristallin évoquées par les théories les plus récentes sur le métamorphisme.

Étant donnée la présence constante d'eau en quantité appréciable dans le granite, les sédiments et les roches métamorphiques, j'ai préféré utiliser le procédé de synthèse en présence de vapeur d'eau sous pression, espérant me rapprocher au maximum des conditions naturelles.

APPAREILLAGE ET MÉTHODE DE TRAVAIL

Autoclaves.

J'ai utilisé trois types d'autoclaves :

I. — La plupart des essais ont été faits dans deux autoclaves de modèle très simple en alliage nickel-chrome RNC3 avec joint de cuivre. Leurs capacités sont respectivement de 6,4 et 5,9 cm³. Les produits sont placés dans une nacelle de cuivre occupant 1,4 cm³ qui se manipule aisément; les produits peuvent y être à volonté isolés de l'eau liquide mais baignent dans la même atmosphère que l'ensemble de la chambre à essai; la fermeture est assurée par trois boulons décollétés en acier mi-dur. Le joint s'écrase de 1 mm. environ en une dizaine d'essais, ce qui provoque une diminution du volume de la chambre de 0,2 cm³; il doit alors être remplacé.

L'étanchéité est parfaite jusqu'à 500°. Au delà, les boulons ne reviennent pas exactement à leur longueur initiale lors du refroidissement de sorte que la pression de vapeur d'eau ne dure que jusqu'à extinction du four, et qu'on ne retrouve pas l'eau lors de l'ouverture.

II. — J'ai utilisé quelquefois la bombe de M. Alb. Michel-Lévy pour l'obtention de hautes pressions provoquées par la détonation d'un explosif, l'hexogène $C_3H_6N_3(NO_2)_3$ amorcé au perchlorate de diazo de méthanitriline (Michel-Lévy et Wyart, 1947).

III. — Enfin, plusieurs essais ont eu lieu dans les autoclaves de M. J. Wyart, d'une capacité de 17,7 cm³, contenant un creuset de cuivre d'un volume de 4,8 cm³ (volume disponible 12,9 cm³).

Mode de chauffage. — Ces autoclaves sont chauffés en four électrique avec régulateur de température Brion-Leroux donnant une précision de $\pm 5^\circ$. Les temps d'expérience ont

duré de trois à quinze jours. La température s'élève à 400° en 4 heures environ. Le refroidissement à partir de cette température dure près de 6 heures, si l'on coupe simplement le courant. On peut l'abréger en ouvrant le four, et terminer le refroidissement en retirant l'autoclave à l'aide d'une pince, et en le plaçant éventuellement sous un jet d'eau.

Pour les bombes du type II, on chauffe préalablement le four afin d'éviter une montée de température trop lente de l'autoclave qui provoquerait la décomposition de l'explosif; on atteint 200° environ en 10 à 15 minutes, température à laquelle a lieu la détonation.

Calcul de la pression.

Aucun de ces autoclaves, de type très simple, ne comporte de manomètre. Le calcul de la pression est basé sur le degré de remplissage (autoclaves de types I et III); on ne prétend pas à une grande précision. Les données numériques utilisées sont celles publiées par Van Nieuwenburg (1932) pour des températures allant jusqu'à 480° . Au delà, j'ai extrapolé, ce qui ne doit pas provoquer une grosse erreur à 500° mais peut en introduire une considérable à 600° .

Pour les faibles pressions, j'ai considéré que la pression de vapeur était inversement proportionnelle au volume spécifique.

Le calcul de la pression est encore plus aléatoire lorsqu'on emploie l'hexogène (autoclaves du type II).

La chambre d'expérience a ici un volume initial de $3,7 \text{ cm}^3$, mais elle est déformée par la forte pression et mesure en fin d'essai environ $5,4 \text{ cm}^3$.

Les mesures et les calculs faits par les ingénieurs des poudres nous indiquent que l'hexogène se décompose en un mélange variable avec la température de CO , CO_2 , NO_2 , N , H_2O et H donnant toujours un même nombre de molécules gazeuses de volume v_0 dans les conditions normales, dont le covolume est estimé à $v_0/1000$. Ils appliquent la loi de Gay-Lussac en tenant compte de ce covolume.

A 930° K (soit 657° C) on obtiendrait

une pression de 6.000 kg/cm² avec 3,75 d'hexogène

7.000 — — 3,94

8.000 — — 4,13.

Étant données les nombreuses hypothèses permettant ce calcul, je considère que ces chiffres indiquent seulement un ordre de grandeur.

Produits utilisés dans les expériences.

Les produits utilisés se présentent soit en poudre, soit en solution (NaOH et KOH). Les poudres, une fois pesées, sont mélangées et broyées au mortier d'agate avant d'être introduites dans l'autoclave; on y rajoute à la pipette graduée les doses nécessaires de solutions et d'eau distillée.

La silice a été utilisée sous forme soit de verre de silice, soit de silice précipitée, soit de quartz.

Procédés d'observation des produits obtenus.

Après expérience, la matière est retirée des nacelles de cuivre, puis observée au microscope par réflexion; plusieurs plaques de frottis sont ensuite étudiées au microscope polarisant, le produit pulvérisé étant immergé dans du baume de Canada ou des huiles d'indice donné.

Lorsque la matière forme des agrégats où les associations cristallines méritent d'être étudiées, elle est consolidée par cuisson prolongée dans un vernis; on y pratique alors une plaque mince en polissant à la main le petit fragment durci sur une glace de verre enduite d'émeri très fin. Le collage de la première face est particulièrement délicat; on risque de ramollir le vernis en appliquant la face terminée sur la plaque de verre couverte de baume liquide et chaud. Il y a souvent lieu de procéder à la cuisson au vernis dans un petit godet de verre meulé ensuite en même temps que la préparation.

Plusieurs de ces plaques minces difficiles à réaliser ont été

faites sur des quartzites, des produits feldspathiques, des associations de mica et d'orthose, une tourmalinite, et ont révélé des détails intéressants.

Quelques mesures d'indice de réfraction en lumière monochromatique (jaune du sodium) ont été effectuées sur de très petits cristaux, par immersion dans des mélanges huileux. L'indice de ces mélanges était ensuite mesuré directement au réfractomètre d'Abbe.

Très souvent, l'étude microscopique ne suffit pas ; l'analyse aux rayons X vient soit la compléter, soit la remplacer.

De très nombreux diagrammes de Debye-Scherrer ont été faits soit sur du matériel brut, soit sur des cristaux triés à l'aiguille sous le microscope ou séparés par densité.

La plupart des clichés ont été réalisés avec une chambre ordinaire d'un rayon de 38,2 mm., en utilisant le rayonnement $K\alpha$ du cuivre. Des déterminations plus délicates ont nécessité l'emploi d'un monochromateur à quartz courbé et d'un dispositif de focalisation. Cet appareil est particulièrement précieux pour déterminer les feldspaths dont on distingue difficilement les différentes espèces sur des diagrammes ordinaires.

Quelques diagrammes de cristal tournant ont été faits sur des cristaux ne dépassant pas le dixième de millimètre.

TACHES DES « SCHISTES TACHETÉS » CORDIÉRITE, ANDALOUSITE ET AUTRES SILICATES D'ALUMINE

La première manifestation du métamorphisme granitique dans les schistes est l'apparition de très fines taches sombres sur les teintes généralement grises de ces roches. Ces schistes finement tachetés donnent ensuite des schistes noduleux, où les taches plus grosses — un à quelques millimètres — font souvent saillie sur l'échantillon. A ce stade, les nodules s'individualisent généralement en minéraux définis : cordiérite, andalousite, très souvent épigénisées en produits micacés ; le schiste est cependant peu évolué puisqu'on y trouve fréquem-

ment des fossiles encore reconnaissables et que les produits carbonés subsistent souvent. La nature des taches naissantes ne peut être définie à l'œil nu.

Étude en plaque mince. — Leur couleur noire est parfois due à une concentration de matière charbonneuse ou ferrugineuse (Andlau, Oulmès) mais ce n'est pas toujours le cas : le pigment noir se dispose parfois en couronne autour des taches (Tourvéon, Lyonnais), le plus souvent, il n'y est pas plus concentré qu'ailleurs (Ferrières dans le Forez, l'Étaçq à Jersey, par exemple).

Alors que le schiste est couramment formé surtout de paillettes de séricite, de chlorite, et d'éléments de quartz détritique, le tout bien biréfringent, les taches naissantes correspondent à des aires presque isotropes, ne contenant que de rares petites séricites, de fins débris de quartz ; en éclairant très fortement la préparation, on distingue parfois une structure non homogène excessivement peu biréfringente (Raon-l'Étape, Vosges).

Très souvent, le plus souvent même, ces taches évoluent directement en des amas micacés très fins, se distinguant bien de l'ensemble de la roche. D'autres fois, elles se transforment en cordiérite ou en andalousite (la cordiérite est fréquemment transformée en pinite).

Harker (1939) semble considérer que les taches représentent un état transitoire sans doute vitreux.

Étude aux rayons X. — J'ai essayé de me rendre compte s'il était possible, au moyen des rayons X, d'élucider la nature des taches.

Deux clichés ont été faits sur des taches bien développées du schiste d'Andlau. Les diagrammes, pauvres en raies, indiquent en premier lieu la présence de séricite, sans doute celle de la chlorite : ces éléments existent en effet en petite quantité même dans les taches. Le fond isotrope sans doute amorphe ne semble pas être représenté sur le cliché.

Un autre cliché a été fait sur une tache ovale détachée d'une plaque mince où elle formait une plage à extinction unique, mises à part quelques inclusions de quartz ; l'indice, la biré-

fringence, l'esquisse de macle en roue, présentés par d'autres taches de ce schiste de Ferrières (Forez), permettaient de diagnostiquer la cordiérite. Le diagramme de rayons X a confirmé la présence de quartz (diagramme de poudre) et celle de cordiérite (spectre de taches se superposant bien au diagramme de poudre de cordiérite témoin).

Enfin, les taches très faiblement biréfringentes du schiste de Raon-l'Étape donnent un diagramme de quartz.

Il serait intéressant de multiplier ces diagrammes sur plaques minces dans les cas où la nature des taches de schistes reste douteuse.

Cordiérite et andalousite ailleurs que dans les taches des schistes. — La cordiérite et l'andalousite, qui peuvent persister jusque dans la zone la plus interne de l'auréole de métamorphisme, se rencontrent dans d'autres cas que je signalerai brièvement.

La *cordiérite* $(\text{Mg, Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ est dans le métamorphisme général, un minéral de la catazone, associé souvent à un silicate d'alumine, la sillimanite. Elle existe dans certaines pegmatites (50 références citées par Heinrich (1950)) ; on connaît quelques cas où elle est d'origine nettement magmatique (andésilabradorite du Morne du Diamant, la Martinique ; note manuscrite inédite d'A. Lacroix (1905)).

Du reste, sa reproduction artificielle a été réalisée facilement par lent refroidissement d'un verre de composition appropriée préparé à 1.400-1.500°. (Dittler et Kohler 1938.)

L'*andalousite* est une des trois formes sous lesquelles se présente le silicate d'alumine anhydre SiAl_2O_5 . Ces trois formes peuvent coexister mais elles ont chacune un domaine préférentiel : celui de l'andalousite est le domaine du métamorphisme de contact même très peu intense ; elle peut exister dans des pegmatites alumineuses.

La sillimanite indique un degré élevé de métamorphisme aussi bien de contact que régional, du moins, une influence marquée des agents pneumatolytiques : les gneiss qui la contiennent sont le plus souvent granulitiques.

Le disthène semble typique du métamorphisme régional

« méso ». Ce serait un des seuls « minéraux de stress » encore reconnus comme tels.

Reproduction artificielle.

Aucun de ces silicates n'a encore pu être reproduit artificiellement : la synthèse de l'andalousite signalée par Baur semble très incertaine : j'ai reproduit son expérience aussi fidèlement que possible sans résultat.

Dans toutes les synthèses où la « sillimanite » est signalée, il s'agit en réalité de mullite, $3\text{Al}_2\text{O}_3$, 2SiO_2 ; la seule différence optique est la position du plan des axes optiques (parallèle à h^1 pour la sillimanite, à g^1 pour la mullite); les diagrammes de rayons X sont très voisins.

Mes essais, tant en ce qui concerne les taches de schistes, la cordiérite, que les silicates d'alumine, n'ont pas été plus fructueux.

Essais d'évolution des taches de schistes. — J'ai voulu faire évoluer les taches du schiste d'Andlau, en prenant des échantillons où elles sont encore bien isotropes.

L'échantillon a été recuit 15 jours à 400° sous une pression de vapeur d'eau d'environ 450 kg/cm^2 en solution légèrement boratée. En plaque mince, on voit que le produit de la tache s'est légèrement séricitisé, pendant qu'une séricitisation abondante envahit la masse. Cependant, en surface, l'échantillon comporte de petites plages faites d'une véritable aplite, bordée d'une zone de produits très ferrugineux et contenant quelques petites tourmalines. Je ne puis dire si ces plages coïncident avec d'anciennes taches. Si oui, elles auraient une capacité d'évolution très grande par rapport au reste du schiste.

Cordiérite. — De nombreux essais ont été effectués avec des mélanges $\text{MgO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ surtout dans les proportions 2 : 2 : 5 avec ou sans fer remplaçant partiellement la magnésie, en présence de fluor (fluosilicate de magnésium) ou de bore (borax), entre 500 et 600° sous des pressions de vapeur d'eau comprises entre 50 et 500 kg/cm^2 . On a obtenu des produits

hylliteux, de l'albite, des produits indéterminables, du talc à 600°).

A partir de kaolin et de MgO ou de fluosilicate de magnésium il s'est formé un produit micacé en grandes lamelles.

A partir d'un verre obtenu par fusion des éléments de la cordiérite recuit sous pression de vapeur d'eau, on trouve du talc et un produit micacé (uniquement reconnaissable par diagramme X)⁽¹⁾.

Silicates d'alumine. — a) *Attaque de minéraux naturels réduits en poudre.*

— Disthène et sillimanite ont été très légèrement attaqués par une solution potassique (0,06 g. KOH pour 2 cm³ eau) à 500°; il s'est formé quelques jolis cristaux cubiques à indice bas, de maille $a = 8,09 \text{ \AA}$, preuves de cette attaque.

— Disthène et andalousite ont été attaqués par leur poids de borax à 500° sous 50 kg/cm² de pression de vapeur d'eau. Le disthène ne semble pas montrer de corrosion. Par contre, l'andalousite est presque totalement transformée : de nombreux prismes en gerbes et en faisceaux bien développés, d'indice moyen 1,517 se sont formés.

L'andalousite se laisse légèrement attaquer par une solution sodique, non par l'eau pure sous faible pression, semble-t-il.

b) *Essais de synthèse.*

De très nombreux essais ont été faits en solution alcaline, en présence de fluor ou de bore.

Lorsque la pression de vapeur d'eau est de quelques centaines de kg/cm², on obtient régulièrement des produits phylliteux, accompagnés parfois de quartz ou de corindon.

(1) — Nous venons de prendre connaissance du travail de H. S. YODER sur le système $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (*Amer. J. of Sc.* Bowen vol. 1952, p. 569-627). La cordiérite a été obtenue à partir de 490°, sous une pression de vapeur d'eau de 1.000 kg/cm², recuit de plus de 200 h. à cette température, et passage intermédiaire par des produits tels que Al-serpentine et clinocllore + pyrophyllite. Ces résultats n'infirment pas les nôtres, poursuivis pendant des temps trop courts, sous une pression trop faible, ce qui n'a permis de réaliser que des produits intermédiaires analogues à ceux signalés par Yoder.

Avec une pression de vapeur d'eau faible, de l'ordre d'une cinquantaine de kg/cm^2 , une série d'essais nous a semblé intéressante, car elle a abouti à la cristallisation d'aiguilles ressemblant beaucoup à la sillimanite. Il s'agissait de mélange de silice et d'alumine avec 10% de borax. Il se forme de fines aiguilles bien biréfringentes, d'indice moyens 1,66, à extinction droite et allongement positif, en même temps que de l'albite.

Le cliché de rayons X de ce mélange a indiqué sillimanite (ou mullite) et albite. Pour obtenir un cliché pur, le produit a été chauffé au four Mecker vers 1.200° . L'albite a fondu. Seul subsiste alors le diagramme du silicate d'alumine qui est donc encore stable à cette température, mais les raies de celui-ci sont faibles, car le produit est mélangé à une certaine proportion de corps amorphes.

J'ai recommencé ces diagrammes de rayons X en utilisant le monochromateur, afin de distinguer à la faveur d'une meilleure dispersion la sillimanite de la mullite : non seulement la distinction sillimanite-mullite apparaît clairement, mais le produit artificiel semble n'être ni l'un, ni l'autre de ces silicates d'alumine.

Il y aura d'ailleurs lieu d'étudier aux rayons X différentes sillimanites : les deux dont j'ai disposé jusqu'ici, montrant de légères variations.

Parmi les silicates voisins de l'andalousite, figure la topaze, qui se trouve typiquement dans les granulites, surtout dans les gisements stannifères : ce silicate d'alumine étant fluoré se reproduit artificiellement avec la plus grande facilité.

MM. Alb. Michel-Levy et J. Wyart (1947) l'ont obtenu à haute pression avec son cortège de cassitérite et de minéraux fluorés : cryolite et chiolite. Je l'ai obtenu à 400° sous 500 kg/cm^2 de pression de vapeur d'eau à partir de silice, d'alumine et de fluosilicate de sodium en très fins cristaux accompagnés d'albite bien développée.

A quoi attribuer ces échecs qui, en ce qui concerne les silicates d'alumine, viennent après ceux de beaucoup d'autres chercheurs ?

Peut-être à un facteur chimique qui nous échappe, peut-être un peu de temps dont nous disposons dans ces essais : la présence d'andalousite et de cordiérite dans des sédiments encore fossilifères prouve une action à basse température poursuivie probablement très longtemps.

Nous ne pensons pas qu'il y ait lieu de se décourager. D'autres facteurs doivent être encore mis en jeu qui pourront aboutir à des résultats positifs.

LES MICAS

Les micas sont très répandus dans les roches métamorphiques ; leur aspect feuilleté, reflet de leur structure, donne une réelle unité à cette famille que l'on peut diviser en deux groupes principaux tant au point de vue composition chimique que mode de gisement : les micas magnésiens, plus ou moins ferrifères — groupe de la biotite et de la phlogopite ; les micas non magnésiens — groupe de la muscovite.

Groupe de la biotite et de la phlogopite.

Il comprend principalement la biotite $K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH, F)_2$ la phlogopite $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH, F)_2$, accessoirement la zinnwaldite $KLiFeAlSi_3O_{10}(OH, F)_2$ que nous laisserons de côté.

Il n'y a pas lieu de séparer l'étude de la biotite de celle de la phlogopite, car il est souvent difficile de distinguer ces deux minéraux et il y a fréquemment passage de l'un à l'autre.

Mode de gisement. — La biotite est un élément essentiel du granite et de nombreuses pegmatites. Elle forme une importante partie des lamprophyres : kersantites, minettes, roches qui représentent les termes extrêmes par leur richesse en éléments ferrifères du cortège filonien du granite. Elle apparaît rapidement dans l'auréole de métamorphisme à distance du granite, après ou en même temps que les fines taches des schistes tachetés. Sa présence, en très nombreux germes cristallins groupés souvent en paillettes polysynthétiques,

transforme les schistes en cornéennes qui ont perdu toute schistosité. Dans les formations cristallophylliennes, les biotites sont bien développées, caractérisent les micaschistes et sont un des éléments essentiels des gneiss.

Groupe de la muscovite.

Les micas blancs les plus répandus sont la muscovite $\text{KAlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ et la séricite, variété hydratée; la lépidolite lithinifère, est localisée comme la zinnwaldite dans les gisements stannifères et la paragonite, sodique, est peu répandue ou difficilement repérée.

Mode de gisement. — La muscovite primaire se rencontre surtout dans les granulites et les pegmatites; parfois dans les granites à deux micas. Sa variété hydratée, la séricite, est excessivement fréquente dans les roches dynamométamorphosées telles que les mylonites avec passage aux roches cristallophylliennes franches par l'intermédiaire des phyllades et des séricitoschistes. La muscovite accompagne la biotite dans les micaschistes et les gneiss supérieurs.

Le mica blanc est en outre un produit de formation secondaire très fréquent des feldspaths, des silicates d'alumine, de la cordiérite, des taches mal déterminées des schistes tachetés, etc...

En comparant les gisements de micas, on voit que la biotite est plus particulièrement cantonnée dans les régions où d'assez hautes températures ont régné. On la trouve à l'exclusion de la muscovite dans la plupart des granites, les gneiss inférieurs et certaines roches éruptives; la muscovite, par contre, est limitée aux roches formées à température modérée.

Dans la classification de Grubenman et Niggli (1924), la séricite est caractéristique de l'épizone, la muscovite et la biotite se rencontrent dans la mésozone, la biotite seule dans la catazone. Dans les pegmatites où les deux familles de micas sont côte à côte, on distingue souvent l'ordre de formation biotite, puis muscovite et ultérieurement lépidolite, et Fersmann (1931) situe la formation de ces micas respectivement

dans les phases épigmatique (800-700°), pegmatoïde et super-critique (600-380°).

Reproduction artificielle.

Les micas sont des minéraux hydroxylés, l'hydroxyle OH occupant le centre des hexagones formés par l'assemblage des tétraèdres SiO_4 et pouvant être remplacé partiellement par du fluor qui a le même diamètre ionique ; les micas naturels contiennent peu de fluor : des biotites de pegmatites en ont exceptionnellement jusqu'à 3,88 %. La plupart en ont moins de 1 à 2 % ; les muscovites ont des teneurs en F aussi variées. Mais des produits très voisins, ayant des propriétés presque identiques, ont pu être reproduits en remplaçant intégralement l'hydroxyle par le fluor ; c'est ce qui a permis la synthèse par voie sèche des micas, ancienne en date, et actuellement utilisée dans les essais industriels visant à reproduire ce minéral. Je les signalerai brièvement avant de considérer les synthèses en présence d'eau, les seules permettant une comparaison tangible avec les produits naturels.

Synthèses par voie sèche.

Hautefeuille et Péan de Saint-Gilles (1887) furent les premiers en 1887 à réaliser la synthèse de la biotite, la même année d'ailleurs que Chroutschhoff. Ils fondaient ensemble les éléments d'un mica très ferrugineux avec du fluosilicate de potassium vers 1.000°. Par lent refroidissement et lorsqu'il ne restait que 3 à 4% de fluor, la masse du produit cristallisait en minces paillettes hexagonales ou en agrégats à contours compliqués, mais facilement clivables, possédant les mêmes propriétés optiques que la biotite, mais de densité un peu plus faible (2,6), plus durs et moins élastiques que les micas naturels.

Doelter (1916), Bauer, Morosewitch, puis Grigoriev (1934) firent des expériences analogues sur la biotite et la phlogopite, partant soit de produits chimiques, soit de minéraux

naturels, mais toujours en présence de quantités notables de fluor.

Plus récemment, la question fut reprise pour les besoins industriels surtout en Allemagne où l'on ne disposait pas pendant la guerre des richesses en mica des pegmatites de Madagascar et des autres pays producteurs. Il s'agissait surtout de produire de grands cristaux ; les recherches restèrent au stade d'essais de laboratoire si on en juge par les brèves communications transmises en 1946 par les Revues américaines *Chemical and Engineering News* et *Chemical Engineering*.

Les laboratoires de l'Institut de céramique KWI utilisaient 35-39 % de SiO_2 , 29-35 % de $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Zn}) \text{O}$, 11-12 % de $(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{V})_2\text{O}_3$, 11-13 % de $(\text{Na}, \text{K})_2\text{SiF}_6$, 6-7 % de $(\text{Na}, \text{K}) \text{F}$, fondaient le tout en creusets de graphite et opéraient un très lent refroidissement jusqu'à solidification complète dans un champ magnétique de 13 gauss. Chez Siemens et Halsk., on employait un mélange plus simple d'alumine, de magnésie, de terre à diatomées (kieselguhr) et de fluosilicate de potassium et on refroidissait le bain en fusion dans un système à l'abri des vibrations extérieures.

Synthèse sous pression de vapeur d'eau.

Jusqu'à ces dernières années, seules la muscovite et ses variétés séricite et paragonite ont été reproduites artificiellement soit par synthèse directe, soit par altération d'autres minéraux.

Synthèse directe. — Les seuls essais systématiques sont ceux de Noll en 1932 (47) qui chauffait entre 200 et 300° un matériel colloïdal de composition $\text{K}_2\text{O}, 3 \text{ Al}_2\text{O}_3, 6 \text{ SiO}_2, x\text{H}_2\text{O}$ sous pression de vapeur d'eau pendant cinq jours. Il obtenait la muscovite à partir de 225° sous une pression de 26 atmosphères. Il identifiait ses produits aux rayons X, les cristaux ne dépassant pas 2 microns de longueur. Il notait une forte diminution de vitesse de cristallisation entre 250 et 225° et pensait que le facteur temps intervient et peut permettre la formation de séricite en dessous de 200°.

En 1942, signalons la reproduction de la paragonite par Grüner obtenue en chauffant bayérite, silice et NaCl, dans une solution décinormale d'acide chlorhydrique.

Altération de minéraux. — Des expériences d'altération d'orthose, de néphéline, de leucite, par l'eau chargée de CO_2 entre 250 et 350° poursuivies par Norton (1939) ont abouti à la formation de séricite, mais ces minéraux semblent stables en dessous de 250 et au-dessus de 350°.

Nouveaux essais.

Biotite.

Le problème de la biotite n'avait pas encore été abordé ou n'avait pas donné de résultats certains.

Dans une première série d'essais réalisés à haute pression avec MM. Alb. Michel-Lévy et J. Wyart (1947), ce mica a été reproduit en lamelles atteignant le demi-millimètre à 680°.

On mélangeait avec 4 g d'hexogène les quantités suivantes :

SiO_2	0,33 g	MgO	0,16 g
Al_2O_3	0,13 g	CO_3K_2	0,10 g
Fe_2O_3	0,15 g	K_2SiF_6	0,17 g

Les produits ainsi pulvérisés et portés à très haute température lors de la détonation de l'explosif, ont fourni pendant le recuit de jolis cristaux de pneumatolyse de magnétite, de biotite (fig. 1, pl. I) et d'orthose déposés dans cet ordre sur une croûte porcelainée garnissant la paroi; des plaques minces pratiquées dans cette croûte montrent des développements de mica noir en fines paillettes appliquées les unes sur les autres et formant des palissades sur les parois du cuivre et des sphérolites sur des perles de cuivre ou des grains de magnétite (fig. 2, Pl. I). L'ensemble est baigné dans une formation orthosique poëcilitique.

Deux autres essais à même température, également sous haute pression, les produits chimiques étant au fond du creu-

set à l'abri des premiers effets de l'explosif placé dans une nacelle de cuivre suspendue au-dessus, ont donné un mélange de biotite et d'orthose. Ici, la biotite se présente en fines phyllites et n'a plus le beau développement de celle obtenue par la grande division des produits utilisés.

Enfin, à 580°, on obtient encore la biotite sous haute pression.

Biotite et muscovite.

J'ai repris cette même composition chimique qui avait réussi initialement à haute pression pour effectuer des essais dans les petits autoclaves à pression moyenne de vapeur d'eau dont je me sers le plus souvent.

A 600°, il s'est formé une matière paraissant isotrope qui, à ma grande surprise, a donné un diagramme de rayons X de biotite. La finesse du produit est telle qu'il ne réagit pas en lumière polarisée et qu'il provoque un élargissement des raies du diagramme. Par contre, à 500°, la *même composition chimique initiale* ne donne que de la muscovite, également identifiée aux rayons X, en phyllites visibles au microscope.

Ayant rajouté 10 % de borax, j'obtins des phyllites bien développées dès 500° qui donnèrent un diagramme de biotite. Mais à 450° c'est un mica blanc qui se forme (en même temps qu'un peu de tourmaline). Ainsi le fer et le magnésium entrent dans le réseau cristallin de la biotite soit à la température assez élevée de 600°, soit à plus basse température avec l'aide d'un minéralisateur tel que le bore.

Je tiens à souligner l'intérêt que présente cette limite entre la genèse des deux micas muscovite et biotite qui, chimiquement, se différencient principalement par l'apparition du fer et du magnésium dans le réseau du second. Cette différence dans les conditions de genèse des deux espèces conduit à des séries de roches sensiblement différentes et particulièrement bien visibles sur le terrain. Ces résultats sont apportés par le contrôle des rayons X, car on remarquera que le microscope polarisant à lui seul s'est montré impuissant à les mettre en valeur.

J'ai obtenu très facilement dans d'autres essais la séricite, la paragonite et la manganophyllite.

Séricite.

Une composition simplifiée de schiste, soit SiO_2 50 %, Al_2O_3 40 %, Fe_2O_3 10 %, K_2O et Na_2O 5 %, ayant travaillé à 500° sous une pression d'environ 200 kg/cm² sans fluor a donné une belle séricite bien développée et surabondante (fig. 3, Pl. I).

L'échantillon de schiste d'Andlau, schiste tacheté sériciteux que j'ai déjà mentionné [p. 248] dont les phyllites étaient toutes orientées parallèlement et les taches presque isotropes, a développé partout de la séricite. Dans la plaque témoin taillée perpendiculairement à la schistosité, il y avait, entre micols croisés, extinction de l'ensemble en une fois, à cause de l'orientation des phyllites. La nouvelle plaque, taillée de la même façon, ne s'éteint plus du tout, du fait de l'orientation quelconque des phyllites de néogénèse.

Paragonite.

Un mélange contenant 0,20 g de SiO_2 , 0,35 g Al_2O_3 , 0,18 g de borax $\text{B}_4\text{O}_7\text{Na}_2$, 10 H_2O recuit à 500° sous une pression de 500 kg/cm² de vapeur d'eau a donné des phyllites bien visibles au microscope identifiées aux rayons X pour de la paragonite.

Manganophyllite.

L'attaque de 100 mg d'un grenat naturel, l'almandin de Bilin, Bohême, par une solution potassique à 500° a donné naissance à ce mica manganésifère qui montre un polychroïsme typique rouge orangé.

Conclusions.

A la suite de cette étude rassemblant différents essais de reproduction artificielle des micas, nous croyons pouvoir assurer que les conditions de la synthèse apparaissent nettement

conformes aux constatations des études de gisements. Dans l'ensemble, les micas n'exigent pas pour leur formation de hautes températures à condition qu'interviennent la vapeur d'eau et d'autres minéralisateurs. Dans le détail, les micas noirs, dans la composition desquels entrent le fer et le magnésium, sont nés à une température plus haute que les micas blancs.

La biotite est le minéral lourd caractéristique des granites ainsi que de leurs roches silico-alumineuses de contact, et elle est également caractéristique des roches cristallophylliennes.

L'observation des roches volcaniques montre la fréquence de la biotite dans les types acides.

A ces conditions, qui semblent tellement typiques des micas noirs, s'opposent, malgré la faiblesse de la marge de température, la genèse des micas blancs qui apparaissent déjà fréquemment dans les granites à deux micas, caractérisent vraiment les granulites (au sens français du terme) et accompagnent le métamorphisme peu intense et les phénomènes hydrothermaux.

LES TOURMALINES

Les tourmalines apparaissent dans presque toutes les roches métamorphiques, mais le plus souvent en petits cristaux très dispersés. Au premier abord, elles peuvent paraître comme des minéraux tout à fait secondaires. Cependant, elles sont un témoin de la présence du bore et du fluor, agents pneumatolytiques très actifs. Leur rôle nous semble donc important et leur étude intéressante.

Définition chimique.

Les tourmalines forment un groupe chimiquement très complexe et personne n'est encore arrivé à les caractériser par une formule chimique entièrement satisfaisante. Après Rammelsberg (1890) qui en distingue neuf groupes, et plusieurs autres

auteurs, Machatschki (1929), en groupant 56 analyses, arrive à la formule approchée suivante :

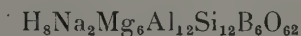


où X représente $Na + K, Ca$, Y représente $Mg + Fe^{++} + Mn^{++}, Al + Fe^{+++} + Ti + Cr$ et où l'on compte 1 OH à la place de 1 F.

Pour Kunitz (1926), les tourmalines ne pourraient être représentées par une formule unique, mais seraient membres de différentes séries isomorphes dont voici les plus importantes :

Les dravites ayant pour termes extrêmes

la dravite proprement dite — (tourmaline magnésienne) —



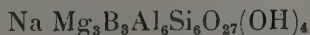
la schorlite (tourmaline riche en fer)



Les rubellites allant des rubellites proprement dites, lithinifères $H_8Na_2(Li, Al)_3Al_{12}Si_{12}B_6O_{62}$, à la schorlite.

Une forme riche en Al, $H_8Na_2(Fe, Mg)_5Al_{14}Si_{11}B_6O_{62}$ complète les deux séries isomorphes composant un système à trois phases — dravite, schorlite, phase alumineuse, ou rubellite, schorlite, phase alumineuse — permettant un très grand nombre de combinaisons.

Les récents travaux de G. E. Hamburger et M. J. Buerger (1948) sur la structure des tourmalines leur ont permis d'utiliser une formule du type :



le motif cristallin comportant trois fois ce groupement d'atomes — mais C. Kurylenko (1950) a montré que cette formule n'était pas entièrement satisfaisante pour toutes les tourmalines.

Quant à Quensel (1939) il oppose aux schorlites noires, riches en fer, les elbaïtes lithinifères, qui sont roses, bleues

ou vertes. Les causes de ces colorations variées sont d'ailleurs mal connues. On invoque tel ou tel élément métallique à un certain degré d'oxydation. On est seulement assuré de ce que les tourmalines les plus foncées sont les plus riches en fer.

Des variations dans les courbes d'analyse thermique et dans les points de fusion entre schorlites et elbaïtes, étudiées par C. Kurylenko (1950), soulignent aussi des différences qui semblent être d'origine structurale. Ces tourmalines colorées, groupées sous le nom d'elbaïtes, ont été rencontrées jusqu'alors, exclusivement dans les pegmatites; il est à remarquer que lorsque l'on trouve à côté d'elles des schorlites, celles-ci apparaissent nettement formées antérieurement à celles-là. Pour Fersmann (1931), la schorlite des pegmatites appartient à la phase « pegmatoïde » (600°), les elbaïtes, aux phases « supercritique » et « hydrothermale de haute température » (500 à 300°).

Je dois indiquer tout de suite que je n'ai pu parvenir à reproduire ces elbaïtes; je vais donc dorénavant insister plus particulièrement sur les schorlites, tourmalines ferro-magnésiennes et banales, qui ont pu être reproduites par synthèse.

Mode de gisement des tourmalines.

En thèse générale, les tourmalines ne sont pas des minéraux essentiels des roches. On les rencontre en petits cristaux dispersés dans certains granites, dans de nombreux schistes cristallophylliens, mais pas en grande abondance. Il s'en produit dans les phénomènes de contact entre les granites et les roches schisteuses ou gréseuses. Ce minéral se trouve avant tout dans les granulites, les pegmatites, et certains filons vraisemblablement parcourus au moment de leur formation par des fumerolles borées. Accidentellement, il y a des concentrations locales où la tourmaline devient le minéral essentiel, comme la luxullianite, tourmalinisation presque complète d'un ancien granite. La tourmaline apparaît presque toujours en cristaux automorphes formant des prismes allongés à section triangulaire. Leur taille est très variée. Les grands cristaux

Les certaines pegmatites atteignent plusieurs décimètres de longueur (Madagascar); alors que dans certains schistes comme les schistes ardoisiers de Fumay, par exemple, leurs petits cristaux ont une trentaine de microns.

Répartition du bore.

La répartition du bore est plus générale encore que celle de la tourmaline; ceci est important à signaler puisque, presque partout où le bore existe, il se trouve assez de silice, d'alumine, de soude et de fer pour que la tourmaline puisse naître — si les conditions physiques sont adéquates.

En effet, les analyses spectrochimiques ont montré que le bore est partout. Goldschmidt et Peters (1932) les premiers, l'ont trouvé dans les sédiments marins, surtout ferrugineux et argileux. Il s'en trouve autant dans les roches basiques que dans les roches acides. Landergren (1945), dans sa contribution à la géochimie du bore, pense que l'influence des processus métamorphiques sur l'enrichissement ou l'appauvrissement en cet élément, ne peut être jugée que par cas d'espèce. Sous la forme où il se présente dans les sédiments, le bore semble assez volatil: un schiste pulvérisé chauffé pendant 4 heures à 800° perd 25 % de sa teneur initiale; ceci indiquerait qu'il n'y est point lié à la tourmaline détritique puisque celle-ci n'en perd une partie que vers 950° d'après Kurylenko (1950).

Dans le précambrien, Landergren remarque une distribution plus régulière de la tourmaline dans les micaschistes que dans les gneiss, et ne croit pas à sa venue sous forme de lointaines émanations, mais plutôt à sa redistribution locale. Par contre, Turner (1948) attribue la présence de tourmalines à des émanations magmatiques, même lorsqu'elles se trouvent dans des formations éloignées de 200 km. d'un affleurement connu de granite, comme c'est le cas en Nouvelle-Zélande. Read (1948) attache une grande signification à la présence si constante de la tourmaline dans les schistes cristallins. Le bore étant un atome de faible rayon, son transport facile serait un

argument en faveur des diffusions à grande distance. Les analyses spectrochimiques ne semblent pas permettre de soutenir cette thèse ; à plus petite échelle, cependant, ce transport a lieu de façon remarquablement nette, mais c'est alors un phénomène franchement fumerollien où la dimension de l'atome de bore joue un rôle bien secondaire.

Synthèse.

Visant la reproduction artificielle de la tourmaline, je n'ai à signaler qu'un travail antérieur au mien, celui de Frondel, Hurlbutt et Collette en 1947, ayant porté sur la recristallisation d'un verre de tourmaline fondu, d'une composition chimique non indiquée. Ce verre a subi un recuit entre 400 et 500° en solutions aqueuses de borates alcalins et de magnésium. Les cristaux obtenus ne dépassent pas le demi-micron de longueur. On peut voir leur photographie au microscope électronique dans l'article de Barnes, paru en 1950 dans l'*American Mineralogist*.

J'ai été amenée à entreprendre des expériences sur la tourmaline après en avoir obtenu en quelque sorte accidentellement en cherchant à réaliser un métamorphisme artificiel de schiste par recuit en solution de borate de potassium à 400° sous une pression de 450 kg/cm², le schiste lui-même ayant surtout subi un enrichissement en séricite ; il était né en surface quelques rares cristaux de tourmaline.

En raison de la complexité de la composition chimique du minéral, le problème était difficile. Les formules données par l'analyse sont déjà simplifiées par rapport à la réalité. Les éléments qui semblent peu importants par leur quantité peuvent être indispensables à la formation du minéral. Afin d'indiquer tous les éléments chimiques qui pouvaient intervenir, je reproduis ici une analyse chimique de tourmaline provenant d'un schiste en contact avec une pegmatite. Cette analyse est prise dans un article de Ward (1931) qui souligne la constance relative de la composition de la schorlite malgré la variété des gisements.

H ₂ O —	H ₂ O +	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃
0,28	1,48	35,68	0,38	2,23	5,15	7,07	34,18
	TiO ₂	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	B ₂ O ₃	F
	0,80	tr.	2,18	0,57	0,41	9,90	tr.

J'essayai donc une formule contenant la silice, l'alumine, du fer sous la forme de Fe₂O₃, du bore, et du fluor, du sodium et du potassium (en employant du borax et du fluosilicate de potassium ; essai n° 5) ; j'obtins des bouquets de tourmaline bleutée.

Ayant eu si facilement la schorlite, pourrais-je obtenir la rubellite ? je supprimai le fer, rajoutai un peu de carbonate de lithium et obtins seulement un mica blanc (n° 6) ; sans lithium, même résultat (n° 7) ; je repris donc la formule de la schorlite et introduisis le fer sous d'autres formes en faisant varier simultanément les proportions d'alumine ; avec le carbonate de fer, je retrouvai la même tourmaline bleutée qu'avec Fe₂O₃ (n° 8) ; avec le fer en poudre fine, il se forma de la tourmaline verte, plus colorée, sans doute plus ferrique (n° 9).

Afin de simplifier la formule au maximum, l'expérience fut renouvelée en supprimant le fluosilicate de potassium. Plus timidement, la tourmaline se formait quand même (n° 10). Le fluor et le potassium n'étaient donc pas indispensables. Mais comme les cristaux étaient mieux développés dans le n° 9 les essais suivants furent faits avec du fluosilicate de sodium ; l'ion potassium était ainsi évité ; le fluor pouvait cependant exercer son action minéralisatrice.

J'essayai alors l'influence d'autres éléments : le magnésium, le manganèse, le calcium, supprimant parfois le fer, toujours sans succès.

Le magnésium, joint au fer, donna une combinaison particulièrement réussie à en juger par la surabondance des fibres de tourmaline formées dans l'essai n° 13, groupées en petits et innombrables sphérolites. Dans l'essai n° 14, où je n'avais pas introduit volontairement de fer, il s'est formé quelques rares cristaux de tourmaline de grande taille — jusqu'à une

cinquantaine de microns — et d'un vert foncé. J'ai cherché vérifier la présence de traces de fer; elles furent décelées après coup dans la magnésie par la réaction au ferrocyanure de potassium.

Le manganèse et le calcium ne modifièrent pas la coloration des cristaux.

Enfin, l'essai n° 20 avec un excédant d'alumine et peu de fer fut particulièrement réussi; alors que l'essai n° 21 sans fer, mais avec une grande quantité de borax, échoua.

Tous ces essais sont résumés dans le tableau n° I; les tableaux II et III montrent l'effet des variations de température et de pression.

Tableau II.

La limite inférieure de la formation de la tourmaline semble correspondre avec la température critique de l'eau.

Elle ne s'est formée à 360° ni dans la phase liquide, ni dans la phase gazeuse: la quantité d'eau de l'essai n° 28 avait été calculée de manière que ces deux phases soient présentes, et les produits chimiques avaient été répartis moitié dans le fond de l'autoclave, dans l'eau, moitié dans la partie supérieure, dans la vapeur. A 400°, elle naît de façon timide mais nette. A 500°, elle est beaucoup plus abondante. Ces trois essais ayant duré chacun cinq jours et demi, peuvent être comparés et marquent nettement que le seuil de formation se trouve entre 360 et 400°.

Tableau III.

Je signalerai d'abord un essai sans fer non porté sur le tableau (SiO_2 0,20 g. Al_2O_3 0,25 g. borax 0,10 g. K_2SiF_6 0,10 g.) exécuté à haute pression, les produits chimiques étant mélangés à l'explosif; outre du feldspath et un mica blanc, il s'est formé de jolis prismes incolores, de jérémiéévite (fig. 5, Pl. II) BaAlO_3 à la place de tourmaline. Ceux-ci ont pour indice $n_g = 1,643$; $n_p = 1,629$, leur extinction est droite et leur allongement négatif. Ce minéral est un borate d'alu-

I. — Variations de la composition chimique $T = 500^{\circ}$ $P = 500 \text{ kg/cm}^2$.

N ^{os}	DURÉE (JOURS)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₄ O ₇ Na ₂ 10 H ₂ O	Na ₂ SiF ₆	K ₂ SiF ₆	CO ₃ Li ₂	Fe	AUTRES PRODUITS CHIMIQUES	RÉSULTATS
5	7	0,40 (18 Si)	0,50 (27 Al)	0,20 (5B 2 1/2 Na)		0,20 (5K)	0,05 (3 1/2 Li)	Fe ₂ O ₃ 0,20 (7 Fe)		tourmaline bleue
6	7	0,40	0,50	0,20		0,20				pas de tourmaline un mica
7	7	0,20	0,25	0,10		0,10				pas de tourmaline un mica
8	7	0,40 (18 Si)	0,43 (23)	0,20 (5B 2 1/2 Na)		0,20 (5K)		CO ₃ Fe 0,30 (7 Fe)		tourmaline bleue
9	7	0,40 (18 Si)	0,34 (18)	0,35 (9)		0,20 (5)		Fe 0,46 (22)		tourmaline verte
10	2	0,40	0,34	0,35				0,45		tourmaline verte
11	2	0,40	0,34	0,35	0,20			tr.	MgO 0,25	quelques tourm. rares albite et produit magnésien
12	2 1/2	0,40	0,34	0,35 (9B + 8 Na)	0,10			0,05 4,5 Fe 0,23 (13 Fe)	0,20 (13 Mg) 0,12	tourmaline bleutée
13	2 1/2	0,40	0,31	0,35	0,10		0,05		(8) CO ₃ Mn 0,15	tourmaline très abondante
14	2 1/2	0,40	0,43	0,35	0,10			0,06		tourmaline bleutée
16	3	0,40	0,34	0,35	0,10			0,20		tourmaline bleu vert, mica + spessartine
17	3	0,40	0,43	0,35	0,10		0,10		0,45 MgO CO ₃ Ca 0,40 0,15	pas de tourmaline un mica
18	5 1/2	0,40	0,34	0,35	0,10			0,02		quelques tourmalines vert jaunâtre
20	5 1/2	0,20 (18 Si)	0,35 (38 Al)	0,17 (9B)				0,02 (2 Fe)		beaucoup de tourm. bleu verdâtre
21	5	0,40	0,60	1 g.		0,10	0,03			pas de tourmaline.

minium très rare dans la nature, n'ayant été signalé que dans l'arène de pegmatite de Sektuj, en Sibérie orientale. J'indique ici les mesures faites sur le diagramme de rayons X de poudre obtenu avec le rayonnement K α du cuivre, car ces chiffres n'ont pas encore été publiés à ma connaissance. L'échantillon témoin qui a servi à cette identification provient de la collection du Muséum d'Histoire Naturelle.

<i>Int.</i>	<i>d</i> (Å)	<i>Int.</i>	<i>d</i> (Å)
f	7,3	m	1,95
i	4,26	tf	1,90
f	4,06	tf	1,84
m	3,79	i	1,68
f	3,56	f	1,58
f	2,80	f	1,52
>f	2,63	f	1,50
f	2,56	f	1,44
f	2,46	f	1,42
f	2,30	i	1,39
i	2,19	f	1,36
f	2,11		
i	2,02		

1° Le n° 10 encadré représente la formule la plus simple.

2° Les proportions atomiques sont indiquées entre crochets en prenant pour base 18 Si, afin de permettre la comparaison avec les formules.

3° Le fer a été utilisé, comme signalé, sous forme de Fe₂O₃, CO₃Fe, et Fe en poudre très fine.

L'essai n° 1366 a été fait sous haute pression. Une partie des produits chimiques était mélangée à l'explosif, le reste, au fond, était pur, séparé de la chambre d'explosion par une rondelle de cuivre. A l'ouverture de la bombe, la partie supérieure du tube de cuivre était recouverte d'une croûte vitreuse garnie de cristaux d'albite et de très fines aiguilles de tourmaline. Au fond du tube, il s'était formée sous la rondelle de

II. *Variations de la température* (composition exp. n° 9).

N ^{os}	T	P _{kg/cm²}	RÉSULTATS
24	500	200	Tourmaline.
27	400	200	Tourmaline (peu abondante).
28	360	183	Pas de tourmaline.

III. *Variations de la pression* (T = 500° composition exp. n° 9).

N ^{os}	P _{kg/cm²}	NATURE DES GAZ	RÉSULTATS
1366	4.000 (env.)	gaz de l'hexogène eau	tourmaline
9	500	eau	—
24	200	eau	—
25	50	eau	albite + cristaux bleus.
26	280	gaz hexogène + eau	—

livre une pastille vert foncé, véritablement rocheuse, de 23 mm. d'épaisseur dans laquelle j'ai pu faire une plaque fine sans même procéder à une consolidation préalable par vernissage. Il s'agit d'une véritable tourmalinite très fine, rec, par endroits, un aspect pœcilitique.

Ainsi, sous une pression de 4.000kg/cm² de gaz et d'eau, tourmaline naît, de même que sous des pressions de vapeur d'eau de 500 et de 200 kg/cm². Par contre, sous 50 kg/cm² de pression d'eau (même lorsque la pression totale des gaz atteint 280 Kg/cm² comme c'est le cas de l'essai n° 26 avec explosif), il ne s'en forme plus, ou seulement des traces. Mais on obtient, outre de l'albite et des matières mal définies, de petits cristaux d'un bleu intense, inattaquables à l'acide.

chlorhydrique, en prismes bipyramidés d'environ 25 microns \times 10 microns, à extinction droite et allongement négatif d'indice moyen 1,653, présentant un polychroïsme intense inverse de celui de la tourmaline en bleu et jaune pâle; ces caractères, sauf l'indice légèrement trop faible, feraient penser à la dumortiérite (d'indice moyen 1,68); cependant, le diagramme de poudre de rayons X très difficile à obtenir (ces cristaux doivent être cueillis à l'aiguille et diffractent très mal) montre peu de raies, et plusieurs de celles-ci ne coïncident pas avec celles de la dumortiérite. Il s'agit donc d'une autre espèce qu'il serait intéressant de trouver dans la nature. D'ailleurs, Graham et Robertson ne signalaient-ils pas à la fin de 1951 l'existence de deux variétés de dumortiérite et d'autres silicates borés non déterminés dans une pegmatite de Montana? L'une de leurs dumortiérites, la variété bleue, a un indice moyen de 1,66.

Il me reste à décrire la tourmaline elle-même; les cristaux se présentent soit en aiguilles très fines, libres ou en houpette, soit en cristaux trapus (variété verte seulement) à section triangulaire, dont une extrémité est libre, avec facettes terminales nettes, l'autre extrémité faisant souche commune avec d'autres cristaux, étant arrondie et mal formée.

Des mesures d'indice ont été faites sur la variété bleue suivant n_g , incolore suivant n_p (nos 5 et 8).

$$n_g = 1,660 \quad n_p = 1,647$$

et sur la variété verte (vert foncé suivant n_g , pâle suivant n_p , n° 9).

$$n_g = 1,660 \quad n_p = 1,644$$

Ces mesures ont été faites par immersion et en utilisant la lumière du sodium, mais, étant donnée la très petite taille des cristaux, l'erreur possible est de $\pm 0,002$.

Les cristaux aciculaires n'ont en effet le plus souvent que 2 à 3 microns de large sur une trentaine de long; les plus grands cristaux obtenus ne dépassent pas une cinquantaine de microns.

Des diagrammes de rayons X de vérification ont été faits pour les nos 5, 13, 16, 20.

Conclusions.

Je voudrais résumer les principales indications données par l'ensemble d'expériences.

1° Notons le rôle capital du fer.

2° Le bore est un constituant mais non le fluor, qui joue surtout un rôle de minéralisateur. Des alcalis, seul le sodium est indispensable. Les éléments essentiels sont donc *Si-Al-B-Na-Fe-O* et *OH* (exp. n° 10).

3° La richesse du milieu en alumine est favorable au développement de la tourmaline (variations de 18 à 38 Al pour 18 Si, soit plus que du simple au double ; développement abondant pour 38 Al : n° 20).

4° La présence de CO_3Ca , CO_3Mn , CO_3Li_2 ne semble pas avoir affecté la couleur des cristaux, autant qu'on en puisse juger sur des aiguilles si fines. Le polychroïsme n'est décelable que sur les plus grands cristaux ou lorsqu'il y a empiement de deux ou trois aiguilles disposées parallèlement, ce qui correspond cependant à une épaisseur très inférieure à celle des plaques minces qui ont environ 30 microns. Il s'agit donc de variétés riches en fer dont le polychroïsme serait très accusé sous une épaisseur normale.

5° Tous les produits chimiques introduits ne sont pas utilisés. Le fer, en excès, oxydé, forme de nombreux grains de magnétite. Il y a souvent de l'albite, des produits micacés, presque toujours un résidu non cristallisé, et des borates se déposant à l'évaporation de l'eau-mère. Malgré des proportions au départ assez variées, (formation de tourmalines dans des essais ayant pour but la reproduction de la biotite, et de grenats) elle naît facilement en plus ou moins grande quantité, avec une composition sans doute assez constante si on en juge par la coloration. Ceci rejoint les observations de Ward (1931) sur les tourmalines naturelles.

6° Au point de vue physique, la limite inférieure de température est nette et correspond à la température critique de l'eau. Celle de la pression l'est moins, mais il semble qu'une

pression de vapeur d'eau suffisante soit nécessaire. D'ailleurs, à la pression atmosphérique, la tourmaline commence à se déshydrater dès 145°.

L'ensemble des faits expérimentaux cadre bien avec ce qu'on sait des gisements de la tourmaline, qui semble être un minéral typiquement pneumatolytique, naissant dans des roches variées.

Coexistence des micas et de la tourmaline.

Si nous laissons de côté le cas des petits cristaux de tourmaline nés dans les schistes peu métamorphisés, dans les cornéennes, en même temps que les autres minéraux de métamorphisme, sans doute en utilisant le bore présent sur place et les éléments chimiques disponibles, et si nous considérons les roches où la tourmaline se rencontre abondamment, formées sous l'action d'émanations borées, on observe souvent nettement qu'elle est née aux dépens de minéraux préexistants.

Harker (1939) cite les minéraux attaqués dans l'ordre suivant : biotite, cordiérite et andalousite, feldspaths.

H. Termier (1950) souligne que dans une roche à biotite, quand la tourmaline atteint une certaine proportion, il y a disparition de la biotite. Par contre, tourmaline et mica blanc se rencontrent presque toujours ensemble.

J'indiquerai ici quelques essais qui semblent coïncider assez bien avec les observations de terrain, sans toutefois permettre une explication complète des faits.

1° *Attaque de biotite par le borax.*

Une biotite naturelle pulvérisée a été chauffée avec 2/3 de son poids de borax à 440° sous une pression de vapeur d'eau de 500 kg/cm² environ. Les parties finement pulvérisées ont été altérées; les paillettes les plus grandes montrent un début de séparation du fer, car elles contiennent quelques nuages de points noirs et présentent une décoloration débutante. Il n'y a pas de formation de tourmaline.

2° *Reproduction artificielle des micas.*

J'ai signalé p. 258 qu'en rajoutant 10 % de borax à un mélange représentant la composition chimique de la biotite, on obtient à 500° de la biotite.

A 450° du mica blanc en même temps qu'un peu de tourmaline.

A 450° et à 550°, un mélange plus riche en silice et en alumine (une biotite + 1 SiO_2 + 1 Al_2O_3) donne un mica blanc et de la tourmaline.

A 450° et à 550° également, un mélange correspondant pour les teneurs en silice et alumine à 1 biotite + 1 tourmaline (mais avec une dose commune de fer et de magnésie) (SiO_2 0,31_g; Al_2O_3 0,22_g; Fe_2O_3 0,075_g; MgO 0,08_g; K_2SiF_6 0,065_g; KOH 0,015_g; borax 0,135_g), donne une très forte proportion de tourmaline dans les deux cas. La difficulté de séparation n'a pas permis de préciser par les rayons X la nature du mica formé en même temps. La présence de magnésie et de fer non combinés fait penser qu'il s'agit de mica blanc.

Je n'ai donc pas pu obtenir en même temps biotite et tourmaline; l'équilibre micas-tourmalines semble très sensible aux compositions chimiques et aux variations de température.

LES GRENATS FERRO-MANGANÉSIFÈRES

Série Almandin-Spessartine.

La synthèse du grenat est particulièrement intéressante en raison de la discussion ouverte au sujet de la formation des minéraux de cette famille.

Je me suis écartée complètement des grenats calciques et magnésiens, et me suis attaché uniquement à la synthèse des grenats ferrifères et manganésifères — almandins et spessartines. Une étude de Wright (1938) portant sur 223 analyses montre en effet qu'on trouve une constance remarquable d'une variété de grenat par type de roches. Tandis que le pyrope $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ est typique des écolites, que le grossulaire

$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ et l'andradite $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ le sont des calcaires de contact, l'almandin $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ et la spessartine $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ sont les grenats particuliers aux granulites, aux pegmatites, aux granites (où ils sont cependant rares), à leurs grès et schistes de contact, aux gneiss et micaschistes. C'est la raison pour laquelle j'ai limité ce travail — qui comprend une trentaine d'expériences — à ces deux catégories de grenats.

Un grenat naturel est en fait un mélange en proportions variées des différents types que je viens de signaler. Les proportions moyennes des molécules principales indiquées par Wright dans les roches qui nous intéressent sont les suivantes :

	Spessartine	Grossulaire	Pyrope	Almandin
1) Pegmatites.....	47,1			41,8
2) Granites.....	36			56,8
3) Roches siliceuses de contact.....	30,7			56,4
4) Micaschistes et gneiss..		6,0	13,8	73,0

Les grenats de la quatrième catégorie contiennent tous de petites quantités de manganèse (plus de 2 % de spess. dans 18 analyses citées sur 23).

Ces analyses statistiques ne doivent pas faire oublier que dans le même échantillon de roche, les proportions peuvent varier considérablement d'un grenat à l'autre. Brammal et Bracewell (1936) signalent que dans le granite de Dartmoor, l'almandin contient de 3,37 à 22 % de spessartine ; dans le même échantillon de roche, de 4,15 à 7,08 sp. Goldschmidt a montré qu'une roche pauvre en manganèse pouvait avoir un grenat riche en ce métal.

Selon Harker, l'almandin typique du métamorphisme régional, serait, contrairement à la spessartine, un minéral de forte pression.

Cependant, ces deux grenats ont une forte densité, un « packing index » analogue, et on comprend mal le rôle direct que la pression pourrait jouer dans la naissance de l'un plus que de l'autre.

Reproduction artificielle.

La spessartine a été reproduite artificiellement sans pression par Gorgeu en 1884 ; il fondait de l'argile blanche avec 5 à 20 fois son poids de chlorure de manganèse dans un courant de vapeur d'eau et obtenait rapidement la cristallisation du grenat. Doelter (1916) opérait également avec du chlorure de manganèse en excès, mélangé à $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{SiO}_2$, fondait le tout au four à gaz vers 1.300° . Par contre, l'almandin n'avait jamais été reproduit ⁽¹⁾.

J'ai recommencé facilement l'expérience de Doelter, mais j'ai pu également reproduire la spessartine pure sous pression de vapeur d'eau à 500° (pressions de 500 et de 1.000 kg/cm^2) à partir de ses constituants, le manganèse étant introduit sous forme de carbonate, conditions plus conformes au mode de formation présumé dans la nature (fig. 6, Pl. II).

J'ai alors essayé de reproduire l'almandin pur — sans succès — puis des mélanges comportant les proportions atomiques $\text{Mn} : \text{Fe}$ comprises entre 0 et 1, à différentes températures, sous des pressions variées et en présence de minéralisateurs.

Intervention du minéralisateur.

Le fluosilicate de sodium, sans être indispensable, a facilité la cristallisation ; dans les mêmes conditions de température et de pression et pour $x = 0,5$, on obtient de tout petits grenats de quelques microns en partant des seuls constituants, des cristaux bien plus nourris de 15 à 20 microns en ajoutant Na_2SiF_6 . A 400° , la spessartine pure ne se forme qu'en présence de ce même produit.

Je n'obtins pas de grenats en utilisant de la soude ou du borax, peut-être parce j'employai les mêmes proportions de silice et d'alumine, et qu'il se formait alors en premier lieu

(1) Signalons les expériences de J. F. Schairer et Kenzo Yagi (*Amer. Journ. Sc. Bowen*, vol. 1952, p. 492-8) qui n'ont pas pu reproduire l'almandin à partir d'un verre de sa composition (sans Mn) et qui signalent plusieurs cas d'altération de grenats naturels.

de l'albite et de la tourmaline; en ce qui concerne l'influence des alcalis, elle s'exerce de façon destructrice sur le grenat : en effet, l'almandin de Bilin, (Bohême), traité par des solutions sodiques et potassiques (100 mg. grenat, autant d'alcalis), a été attaqué avec formation de néphéline dans le premier cas, d'orthose dans le second.

Effet de la pression.

(Température constante de 500°.)

Je n'ai pu constater que la pression permette d'obtenir un grenat très riche en fer. Sous 500 kg/cm² de pression de vapeur d'eau, le grenat se forme pour $1 \geq x \geq 0,3$. Même résultat sous 1.000 kg/cm². Un essai à haute pression à l'aide d'explosifs pour $x = 0,05$ est resté sans résultat.

Effets de la température.

(Pression voisine de 500 kg/cm².)

A 400° la spessartine se forme timidement pour $x = 0,7$ et non pour $x = 0,5$.

A 500°, nous ne pouvons obtenir de grenat avec une composition du mélange initial comportant $x < 0,3$, à 600°, x peut être égal à 0,1 (mais pas à 0,05), à 700°, quelques rares grenats se forment pour $x = 0,05$, aucun avec une composition d'almandin pur.

Description des cristaux : leur identification.

Le grenat se présente en cristaux de 15 à 20 microns, limpides, avec les faces (110) bien marquées. Ils ont parfois un petit grain central faisant penser à un germe. La présence de ce germe m'a incité à essayer d'accroître les cristaux formés dans un premier essai en les soumettant à un second recuit; du grenat né dans l'essai où $x = 0,5$ a été nourri dans un mélange correspondant à $x = 0,3$. Les cristaux primitifs sont enfumés mais présentent une zone d'accroissement limpide de

à 4 microns d'épaisseur. Il a été impossible de nourrir ces germes (à 500°) avec une composition correspondant à l'almandin pur malgré des essais réitérés.

J'aurais voulu pouvoir compléter l'étude de cette série de grenats par la détermination de leur teneur en manganèse, mais j'ai dû me contenter de connaître les proportions initiales des mélanges utilisés.

L'analyse chimique est impossible : on ne peut isoler ces tout petits cristaux de l'ensemble de la matière ; j'ai essayé d'éliminer le manganèse et le fer inemployés dans les grenats par une attaque à ClH bouillant ; les grenats sont réputés inattaquables aux acides, cependant des cristaux de 10 à 20 microns n'ont pas résisté.

J'ai mesuré aux rayons X la maille de la spessartine pure.

$$a = 11,57 \pm 0,02 \text{ \AA}.$$

Je n'ai pu faire de mesures sur d'autres cristaux : ils diffractent très peu et sont noyés dans une matière mal cristallisée ; les quelques raies qui apparaissent parfois appartiennent aux grenats sans pouvoir préciser de quels grenats il s'agit.

De toutes façons, on voit par les données de la littérature que je n'aurai pu obtenir une grande précision.

Menzer (1929) : Spessartine Madagascar $a = 11,60 \pm 0,02 \text{ \AA}$

spess. artif. Méthode

Gorgeu $a = 11,61 \pm 0,02 \text{ \AA}$

et $a = 11,57 \pm 0,04 \text{ \AA}$

Almandin Falun, Suède $a = 11,51 \pm 0,03 \text{ \AA}$

Engsö $a = 11,53 \pm 0,02 \text{ \AA}$

Leischer (1937) : Spessartine $a = 11,590 \text{ \AA}$

Almandin $a = 11,495 \text{ \AA}$

La courbe expérimentale des teneurs en fer et en manganèse en fonction de la température, correspond aux conditions initiales de formation et non à la teneur véritable des grenats en ces deux métaux — teneur qui reste inconnue. Une proportion notable de fer est cependant entrée en combinaison.

Il ne serait pas possible d'expliquer sans cela l'absence complète de grenat dans un domaine où le manganèse est encore présent, et où — par conséquent — une quantité appréciable de spessartine pourrait être formée. Par contre, si le grenat, à une température donnée, ne se forme qu'au-dessus d'une valeur déterminée du rapport Mn/Fe, on comprend cette limitation nette du domaine de cristallisation du grenat.

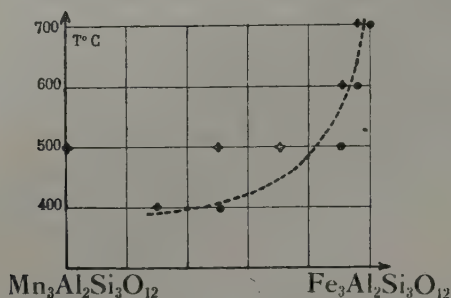


FIG 1. — Domaine de formation du grenat ferro-manganésifère (au-dessus de la courbe).

+ essai positif; • essai négatif.

Cet ensemble d'expériences permet des conclusions utiles au pétrographe.

1° Il m'a été impossible de reproduire de l'almandin sans manganèse en dessous de 700°, c'est-à-dire dans le domaine de température le plus probable des roches métamorphiques. Remarquons la présence constante de ce métal dans tous les grenats ferro-alumineux analysés. Il est intéressant de signaler que le manganèse est d'ailleurs présent en faible quantité dans la plupart des grenats.

2° Comme le suggère Ramberg (1949), la teneur en manganèse des grenats de la série almandin-spessartine peut servir de thermomètre géologique en indiquant la température minimum de formation de ce minéral dans la roche considérée.

QUARTZ ET FELDSPATHS

L'apport de silice et d'alcalis aux terrains sédimentaires encaissants lors de la mise en place d'un massif granitique est un des phénomènes de transport d'éléments les plus faciles à observer qualitativement sur le terrain grâce à l'augmentation de la teneur en quartz d'une part, à la feldspathisation d'autre part.

Lorsque ces deux processus ont lieu conjointement, à proximité du granite, le sédiment déjà transformé en cornéenne micacée, devient une cornéenne feldspathisée.

Quartz.

La remise en mouvement de la silice, grâce à la circulation en solutions à assez haute température, est facile à admettre puisqu'on observe le transport de silice et son dépôt sous forme de quartz dans les sources thermales — autour de 100° — — même dans certaines formations sédimentaires à froid : silex, ciment siliceux des arkoses et des grès.

De nombreux essais ont permis d'apprécier quantitativement les proportions de silice transportées par l'eau et la vapeur d'eau. Ces mesures montrent des différences sensibles entre elles, mais donnent déjà un ordre de grandeur. Comme elles offrent un réel intérêt pétrographique, je les indiquerai dans le tableau suivant :

On voit que :

1° A température égale, la silice amorphe est plus soluble que le quartz. (10 fois plus selon Van Praagh (1949) vers 370° ; à 6 fois selon les valeurs du tableau.)

2° Dans l'eau, la solubilité croît avec la température. 0,4 mg/cm³ à 100° à près de 4 mg/cm³ à 370° pour la silice amorphe.)

3° Dans la vapeur d'eau, elle croît surtout en fonction de la pression.

4° Il ne semble pas y avoir de discontinuité dans la courbe de solubilité à la température critique.

Dans les solutions alcalines ou de silicates alcalins, le transport n'est plus simplement dû à la solubilité de la silice, mais aussi à des réactions dans le système alcali-silice-eau ; la vapeur supercritique elle-même dissoudrait les alcalis — on ne sait encore dans quelles proportions — et doit transporter des quantités de silice différentes de celles mesurées pour la vapeur d'eau pure.

Synthèse du quartz.

Réalisée par voie humide dès 1851 par Sénarmont, la reproduction artificielle du quartz a été étudiée depuis par de très nombreux chercheurs. En présence d'eau et de solutions alcalines, elle a lieu expérimentalement dès 100°. Par contre, en l'absence d'eau (ou d'un fondant tel que le tungstate de sodium sans intérêt pour le pétrographe), il semble impossible de reproduire le quartz.

Comme les cristaux naturels de ce minéral présentent très souvent des inclusions liquides à libelle mobile d'eau ou de gaz carbonique, il est permis de croire que les synthèses en présence d'eau cadrent avec le mode de formation du quartz du granite, des pegmatites, de l'ensemble des roches métamorphiques et filoniennes.

Il m'est arrivé en plusieurs circonstances d'obtenir des cristaux de quartz, chaque fois dans des conditions déjà réalisées qu'il n'y a donc pas lieu de rappeler.

Feldspaths.

La feldspathisation qui correspond le plus souvent à un apport de silice et d'alcalis — les sédiments argileux transformés contiennent toujours assez d'alumine — a été décrite notamment à Saint-Léon, à Flamanville (Aug. Michel-Lévy 1881, 1893), à Rostrenen (Ch. Barrois 1885), dans les années 1880-90. Cette preuve tangible du départ du granite vers le milieu ambiant de quantités notables d'éléments chimiques

NATURE DE LA SILICE	AUTEUR ANNÉE	TEMPÉ- RATURE	PRESSION	mg. SiO ₂ /g. eau
EAU				
Quartz	Grüner 1930 (q. broyé)	200° C	15 kg/cm ²	0,037
		250	40	0,140
		300	85	0,958
	Franke 1950 (q. entier)	350	164	0,67
Silice amorphe	Lehner et Merril 1917	25°	1	0,16
		90	1	0,43
	Hitchen 1935	128	2,7	0,49
		336	136	4,32
	Grüner 1930 (gel)	200	15	0,80
		300	85	1,41
	Kennedy 1944 (fils de verre)	200	310	0,1
		240	»	0,35
		310	»	1,33
		355	»	2,00
	Franke 1950 (cylindre de verre)	370	450 env.	3,8
VAPEUR D'EAU				
Quartz	Franke 1950 (q. entier)	350°	40 env.	0,3 à 0,4
		»	80 env.	0,67
		»	160 env.	0,67
	Van Nieuwenburg et Van Zon 1935 (en poudre)	380	295	0,43
		»	330	0,56
		»	500	0,77
		400	293	0,20
		»	325	0,43
		»	500	0,77
		425	365	0,2
		»	500	0,77
Silice amorphe	Kennedy 1944 (fils de verre)	377	310	1,70
		399	»	1,40
		418	»	0,95
	Gillingham 1948 (gel pulvérisé)	350	171	0
		370	212	0,08
		450	304	0,24

sélectionnés a été niée longtemps par ceux qui tenaient pour la formation du granite en vase clos; c'est sans doute qu'il n'avait pas eu l'occasion d'observer ce phénomène qui n'a pas toujours lieu; Rosenbusch (1877), champion de cette théorie, avait en effet étudié en détail les phénomènes de contact du granite d'Andlau avec les schistes de Steige dans les Vosges où le stade de métamorphisme maximum est celui de cordon micacée à andalousite et cordiérite.

Les analyses chimiques faites sur échantillons très rapprochés les uns des autres, pratiquées par D. L. Reynolds (1941) permettent une précision plus grande que l'analyse minéralogique seule : cet auteur peut ainsi distinguer dans les transformations de roches pélitiques sous l'influence du granite une phase de « désilication » due à l'augmentation des alcalis totaux ou des constituants « cations » (Ca, Mg, Fe); une seconde phase de « granitisation » proprement dite suit : la roche désilicatée est modifiée de façon à ressembler au granite associé.

La nature du feldspath formé dans les roches silico-alumineuses feldspathisées est voisine de celle du granite lui-même : orthose ou microcline, albite ou plagioclase ne dépassant pas l'oligoclase-andésine.

Le microcline se reconnaît surtout à ses macles en quadrillage (macles albite et péricline); ces macles peuvent être submicroscopiques. On peut alors confondre orthose et microcline, à moins de mesurer les angles 2V. Quelle part faut-il faire à chacun de ces minéraux? Mäkinen (1917), dans les granites et les schistes cristallins finnois qu'il a étudiés, n'aurait trouvé que du microcline. On a constaté qu'il est difficile de trouver une différence génétique entre ces deux types de feldspaths d'après leur mode de gisement.

L'albite a un mode de gisement tout à fait analogue à celui de l'orthose. Elle forme des associations perthitiques avec l'orthose et microcline. Elle peut en outre se former dans les roches dynamométamorphisées.

Dans les roches cristallophylliennes, le plagioclase, très acide dans l'épizone, est rarement plus basique que l'and

ine dans les autres zones. On peut trouver cependant dans les amphibolites ou les gneiss pyroxéniques un plagioclase comportant plus de 50 % d'anorthite. Ces feldspaths très basiques se rencontrent aussi dans le métamorphisme de contact des marnes et calcaires.

Études synthétiques.

1° *Feldspaths alcalins.*

Les synthèses par voie sèche ont été décevantes : l'orthose ne peut être reproduite directement à partir de ses constituants. Cela s'explique par la fusion incongruente de ce minéral qui donne de la leucite et un liquide à $1.120 \pm 20^\circ$ et sous pression ordinaire. Hautefeuille (1877) dut avoir recours à la fusion entre 900 et 1.000° dans l'acide tungstique d'un silico-aluminate de potasse très alcalin pour obtenir l'orthose.

Le diagramme d'équilibre de Schairer et Bowen pour le système $\text{NaAlSiO}_4\text{-KAlSiO}_4\text{-SiO}_2$, révisé en 1950 par Schairer montre une zone de non-cristallisation, malgré un recuit de cinq ans, dans le domaine des feldspaths sodi-potassiques pour des températures inférieures à 1.000° .

Par contre, les essais en présence d'eau ont permis des cristallisations à des températures correspondant sans doute à la formation naturelle de la plupart de ces feldspaths.

Dès 1879, Friedel et Sarrasin reproduisaient l'orthose en faisant réagir sous pression, au rouge sombre, un mélange de silicate de potassium, de silicate d'aluminium et d'eau.

En 1950, Bowen et Tuttle ont publié un travail d'ensemble sur le système $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-H}_2\text{O}$. Nous pouvons résumer leurs résultats comme suit :

1° Les verres, dont la composition est celle de feldspaths alcalins, ne peuvent totalement cristalliser par voie sèche ; on obtient une cristallisation complète facile sous une pression de 300 kg/cm^2 de vapeur d'eau à 900°C .

2° Au-dessus de 660° , température non influencée par la pression de l'eau, il se forme un seul feldspath, quelles que

soient les teneurs en sodium et en potassium. En dessous de cette température, il s'en forme deux (pour des teneurs en sodium comprises environ entre 20 et 90 %).

3° Un feldspath formé au-dessus et recuit en dessous de 660° encore en présence de vapeur d'eau donne deux feldspaths mais submicroscopiquement.

4° Tous les feldspaths obtenus ainsi sont du type haute température donc légèrement différents des feldspaths naturels.

II° *Plagioclases.*

La composition chimique et les propriétés optiques des plagioclases varient de l'albite à l'anorthite de façon continue, d'où la « loi de Tschermak » considérant ces minéraux comme des mélanges isomorphes des termes extrêmes, modifiée par F. Fouqué ; celui-ci constate la plus grande fréquence de certains types définis : oligoclase, andésine, labrador, bytownite présentant entre eux les associations en feldspaths zonés ; leur mélange donnerait les autres termes intermédiaires. Mais déjà Aug. Michel-Lévy s'aperçoit que cette loi n'est qu'approchée : en appliquant la loi de Tschermak, il devrait exister dans les cristaux zonés pour chaque section observée en plaque mince, en lumière polarisée, une position d'éclairement commun ; or, l'éclairement commun présente des différences de 3 à 4° entre les plagioclases basiques et les plagioclases acides.

Ceci devait être vérifié bien plus tard, par les études structurales réalisées grâce à la diffraction des rayons X. D'après les plus récents travaux de Cole, Sorum et Taylor (1951), il y a isomorphismes de 0 à 30 % d'an., puis de 72 à 100 % d'an., mais ici le paramètre *c* est double. Entre 30 et 72 %, il y aurait peut-être deux phases mélangées intimement.

Les résultats des expériences synthétiques montrent également une différence marquée entre les plagioclases acides et basiques. Seuls ceux-ci ont pu être reproduits par voie sèche. Fouqué et Michel-Lévy en 1878 furent les premiers à obtenir l'anorthite et le labrador par fusion de leurs constituants et

ecuit au rouge blanc. Pour des compositions plus acides, il restait toujours un résidu vitreux. Un verre albitique ne peut cristalliser. De nos jours, ces résultats sont confirmés par Köhler (1949) qui précise que les feldspaths synthétiques n'existent que pour les teneurs de 70 à 100 % d'anorthite.

Par contre l'albite se reproduit très facilement en présence d'eau sous pression à des températures relativement basses.

C. Friedel et Sarrasin la reproduisirent en 1883 dans les mêmes conditions physiques que l'orthose ; mais on a découvert récemment que l'albite synthétique ne serait pas identique à l'albite naturelle des pegmatites et des filons ; elle ressemblerait par contre fortement aux plagioclases acides de certaines roches extrusives. De nombreuses synthèses entre 250° et 1.000° exécutées par Tuttle et Bowen (1950) à partir de matériel varié donneraient toutes ce même résultat. La plupart des albites naturelles chauffées un peu en dessous de leur point de fusion, se transformeraient, en des temps plus ou moins longs, en cette variété qui semblerait stable au-dessus de 700° et qu'on appelle de ce fait forme de haute température. La facilité de transformation des feldspaths naturels dépendrait peut-être d'une « structure relique » provenant de l'histoire antérieure des cristaux.

De synthèses feldspathiques hydrothermales intermédiaires entre l'albite et le labrador, nous ne savons presque rien ; seule une expérience de Baur en 1911, sans indication de pression et à une température de 350 ou 450°, signale une oligoclase-albite.

Travail de synthèse actuel, en liaison avec les constatations de terrain sur le métamorphisme.

L'orthose reproduite souvent en même temps que d'autres minéraux, par exemple en même temps que les micas, est également obtenue seule très facilement à 400° sous une pression de 400 kg/cm² de vapeur d'eau environ.

Il semble bien, aux rayons X, que cette orthose soit très voisine de l'orthose naturelle.

Il n'a pas été possible jusqu'ici d'obtenir le microcline malgré des essais en milieu sodi-potassique vers 400°.

L'albite s'obtient très facilement dans des essais très variés. En présence d'un minéralisateur, celui-ci semble agir sur le développement des faces des cristaux. En effet, en même temps que la tourmaline et que le silicate d'alumine ressemblant à la sillimanite, c'est-à-dire en présence de bore, l'albite forme des plaquettes hexagonales g^1 . En présence de fluor elle est en prismes maclés albite, seuls ou en bouquets.

Ce sont aussi ces prismes, parfois aplatis suivant g^1 , qu'on obtient le plus souvent dans les synthèses ne contenant que silice, alumine et soude.

Toutes ces albites donnent un même diagramme de rayons X légèrement différent du diagramme de rayons X de l'albite naturelle.

L'anorthite peut également s'obtenir en présence de vapeur d'eau. Son diagramme de rayons X est identique à celui de l'anorthite naturelle.

Enfin toute la gamme des plagioclases intermédiaires est facile à reproduire à cette même température ; la présence de trace de borax facilite grandement l'obtention d'un matériel homogène, ce qui permet une bonne identification aux rayons X.

Il s'agit en effet toujours de produits très fins dont on ne peut étudier d'autres propriétés optiques que l'indice moyen.

Il semble donc qu'à partir d'une certaine température — nos essais ont été faits à 400° et au-dessus — la naissance d'un plagioclase plus ou moins acide dans les roches métamorphiques soit surtout une question d'équilibre chimique entre le matériel soluble présent dans la roche, et l'apport dû au voisinage granitique. Cet apport est sodique (ou sodi-potassique) ; s'il n'y a pas de chaux « feldspathisable » dans le sédiment en voie de transformation, il ne se formera que de l'albite. Dans le cas contraire, un plagioclase basique peut se former, comme c'est le cas dans certaines marnes et certains calcaires métamorphisés.

Il est permis de penser que les albites formées en milieu

calcaire résultent d'une genèse au-dessous de la température critique de l'eau.

De cette étude sur la synthèse du quartz et des feldspaths, on relèvera la conviction qu'il a fallu de la vapeur d'eau ou des gaz minéralisateurs pour la formation de ces minéraux dans le métamorphisme de contact. Cette donnée est vraisemblablement à généraliser et à étendre pour le cas du métamorphisme régional et la formation du granite lui-même.

CONCLUSION

Ces expériences ont été faites à partir de produits chimiques pulvérisés ou dissous dans l'eau, sans autre homogénéisation qu'un mélange par broyage au mortier. A aucun moment, dans ces essais effectués à une température inférieure à 700°, il n'y a eu fusion, mais réactions entre grains voisins avec corrosion et recristallisation de matériel dans la phase gazeuse.

Ces conditions se rapprochent autant que possible de celles que l'on peut supposer réalisées dans les roches sédimentaires soumises au métamorphisme de contact, roches formées de minéraux variés triés par les hasards de la sédimentation, plus ou moins cimentés par des produits colloïdaux hydratés; les réactions sont facilitées et rendues plus rapides par l'emploi de produits chimiques simples, dans un état sableux où la circulation de la vapeur d'eau est aisée.

Le pétrographe étudiant les faciès métamorphiques discute des conditions de pression, température, composition chimique de roches et d'assemblages minéraux. Il étudie d'ailleurs la résultante de nombreux processus élémentaires, qu'il ne peut décomposer; il écrit des équations de réactions chimiques entre minéraux, logiques mais non vérifiées, il utilise la règle des phases, il applique les équations de Clapeyron, tout cela pour des systèmes très hétérogènes et dont le nombre des constituants indépendants est bien difficile à déterminer.

Dans les essais synthétiques, nous nous efforçons de réduire

le nombre des processus de formation et de comprendre les conditions de genèse des minéraux pris un à un, avant d'étudier leurs assemblages, espérant arriver de proche en proche à faciliter le travail d'interprétation du pétrographe. Notre désir d'obtenir des minéraux isolés est rarement réalisé; mais l'association de cristaux formée à la place offre un égal intérêt, dans la mesure où elle se rapproche d'une association naturelle.

Il nous faut cependant comparer les résultats avec une grande prudence, en raison de la faiblesse de nos moyens par rapport à ceux dont dispose la nature. Nous avons déjà indiqué quelles étaient l'exiguïté des espaces, la faible quantité de produits utilisés et non renouvelables, et la durée si brève de nos essais.

Ces réserves faites, nous essayons de comparer ce qui est comparable, c'est-à-dire le rôle de la température, celui de la pression de vapeur d'eau et l'intervention de l'eau et des minéralisateurs pour les cinq familles de minéraux étudiés : quartz, feldspaths, micas, tourmalines et grenats.

Rôle de la température et de la pression.

Nous avons vu le très large domaine de cristallisation du quartz. Nous devons nous montrer très réservés en ce qui concerne les feldspaths artificiels, car nous n'avons pu reproduire les détails de leurs associations, entre eux et avec le quartz. Les détails peut-être particuliers à des températures de formation données. Nous savons qu'à 400° environ, orthose, albite, anorthite et leurs intermédiaires peuvent se former. La naissance de ces espèces minérales dans les roches métamorphiques ne semble pas être essentiellement liée à une question de gradient de température.

Pour les micas, par contre, le facteur température semble primordial, et nous pouvons fixer entre 500 et 600° le seuil de formation de la biotite dans le cas le plus général.

La tourmaline naît dès 400° — pourvu que la pression de vapeur d'eau soit suffisante — c'est un minéral hydroxylé.

Enfin les grenats de la série almandin-spessartine paraissent différents aux variations de pression de vapeur supérieures quelques centaines de kg/cm^2 mais sont très sensibles aux variations de température pour leur teneur en fer-manganèse.

La plupart de ces essais démontrent donc le rôle prédominant de la température ⁽¹⁾. Celui de la pression de vapeur d'eau semble secondaire — surtout au-dessus de 500 kg/cm^2 pression déjà réalisée dans les roches à 2 km. de profondeur — se réduit peut-être à empêcher la fuite des matières volatiles ainsi que le pensent plusieurs pétrographes. [Il n'est question ici que des pressions de l'ordre de quelques tonnes par cm^2 .]

Rôle de l'eau.

Lorsque nous parlons de pression dans ces essais, il s'agit presque toujours de pression de vapeur d'eau. Parfois interviennent le gaz carbonique, si des carbonates sont utilisés, ou le gaz de décomposition de l'héxogène en cas d'emploi de ce dernier.

Comment comprendre le rôle de l'eau pour la formation des minéraux anhydres : quartz, feldspaths, grenats ?

Est-ce seulement un agent commode de mise en pression hydrostatique ? Est-ce un solvant, ou l'eau agit-elle surtout comme catalyseur ? Dans nos essais, la vapeur d'eau cumule certainement toutes ces fonctions. Son rôle dans la nature est plus discutable. Sa pression partielle est souvent faible par rapport à la pression totale subie par les roches en voie de métamorphisme, mais elle n'est pas négligeable : la plupart des granites révèlent à l'analyse une teneur actuelle en eau + d'environ 0,5 % soit 5 cm^3 pour 1 kg. de roche occupant un volume de $0,4 \text{ dm}^3$.

Sa présence est certaine au début de la cristallisation — genèse des micas — et à la fin, inclusions liquides à libelle

⁽¹⁾ H. S. YODER (*op. cité*) aboutit à la même conclusion dans le système qu'il a étudié.

mobile des quartz nés en dernier lieu. Son mode d'action peut être discuté, mais on est obligé d'en tenir compte puisqu'elle est partout présente, et que les données expérimentales montrent son rôle primordial dans la formation de minéraux aussi communs que le quartz et les feldspaths.

Intervention des minéralisateurs.

En dehors de l'action minéralisatrice de l'eau, nous avons eu l'occasion de remarquer celle des alcalis, du fluor et du bore.

La soude et la potasse aident à la formation du quartz.

Le fluor intervient favorablement dans la genèse de la tourmaline, des grenats et de certains feldspaths — les plus beaux cristaux d'albite sont formés en même temps que la topaze — il est indispensable et fait partie du réseau cristallin de tous les micas autres que la séricite.

Enfin le bore, élément essentiel de la tourmaline, facilite la cristallisation des feldspaths en permettant d'obtenir un ensemble plus homogène et une combinaison plus complète des éléments chimiques en présence.

Ainsi, malgré les limites si étroites des conditions d'expériences, la synthèse des minéraux de métamorphisme de contact apporte un appui certain aux constatations du pétrographe sur le terrain : reprise d'éléments in situ et apport, principalement par la vapeur d'eau, d'éléments qui s'ajoutent aux précédents, ceci à faible profondeur sous l'influence d'un thermalisme modéré.

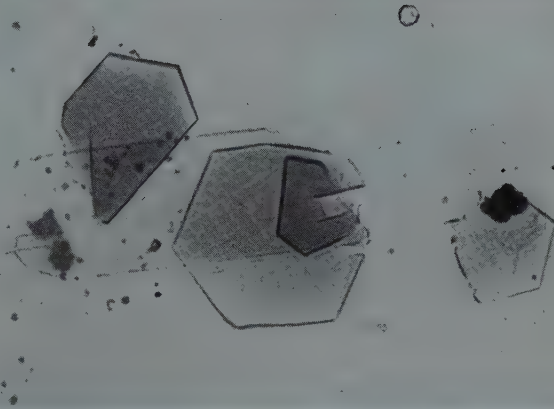


FIG. 1. — Biotite, cristaux libres (l. n. $\times 400$).

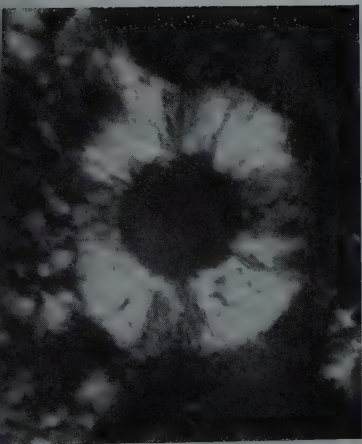


FIG. 2. — Biotite en sphérolite autour d'une perle de cuivre; plaque mince dans croûte de parois; même essai que fig. 1 (l. p. $\times 1200$).

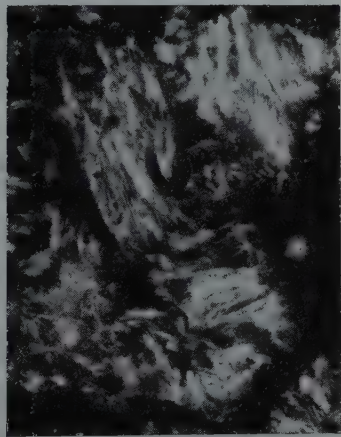


FIG. 3. — Séricite; plaque mince (l. p. $\times 400$).



FIG. 1. — Tourmaline essai n° 20
(l. n. $\times 150$).



FIG. 2. — Tourmaline bleutée,
essai n° 5 (l. n. $\times 600$).



FIG. 3. — Tourmaline, essai n° 20,
grossissement plus fort (l. n. $\times 600$).

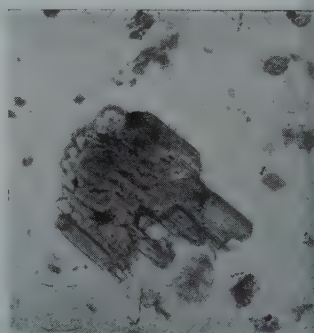


FIG. 4. — Tourmaline verte,
essai n° 11 (l. n. $\times 400$).

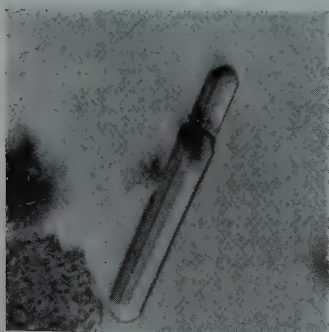


FIG. 5. — Jeremeievite,
essai n° 1365 (l. n. $\times 400$).

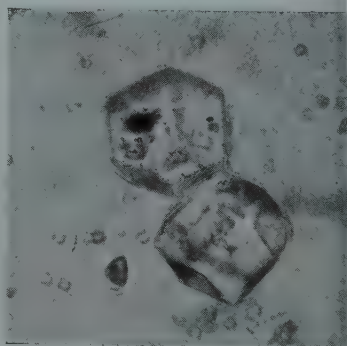


FIG. 6. — Grenat spessartine
(l. n. $\times 400$).

BIBLIOGRAPHIE

- ARNES W. H. (1950). — *Amer. Miner.*, 35, 406.
- ARNOIS, Ch. (1885). — *Ann. Soc. géol. Nord*, 12.
- BR, E. (1911). — *Z. anorg. allg. Chem.*, Dtsch., 72, 119-61.
- EVEN, N. L., TUTTLE, O. F. (1950). — *J. Geol.*, U. S. A., 58, 5, 489.
- AMMAL, A. BRACEWELL, S. (1936). — *Miner. Mag. G. B.*, 24, 254.
- ERGER, M. J., HAMBURGER, G. E. (1948). — *Amer. Miner.*, 33, 532-40, 761-2.
- LE, W. F., SORUM, H., TAYLOR, W. H. (1951). — *Acta cryst.*, 4, 20-9.
- TLER, E., KOHLER, A. (1938). — *Zbl. miner. A.* 149-59.
- ELTER (1916). — *Handbuch der Mineralogie.*
- RSMANN, A. (1934). — *Miner. Petrogr. Mitt. B.* 41, 64.
- ISCHER, M. (1937). — *Amer. Miner.*, 22, 751.
- DUQUE, F., MICHEL-LÉVY, Aug. (1882). — *Synthèses des minéraux et des roches.* Masson.
- ANKE, I. (1950). — *Bull. Soc. franç. Minér. cristal.*, 73, 503-10.
- REDEL, Ch., SARASIN, E. (1879). — *Bull. Soc. franç. Minér.*, 2, 158-61.
- (1883). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 97, 290-4.
- ONDEL, HURLBUTT, COLLETTE (1947). — *Amer. Miner.*, 32, 680.
- rman production of synthetic mica; Laboratories of the KWI Inst.
Chem. Engin. News, 24/9/1949.
- rman pilot plan Production of synthetic mica, 3/5/1946. *Chem. Engng.*, 53.
- LLINGHAM, T. E. (1948). — *Econ. Geol.*, U.S.A., 43.
- LDSCHEIDT, V. M., PETERS (1932). — *Gesell. Wiss. Göttingen, Math. Phys. Kl.*, 4, 2, 402.
- RGEU, A. (1884). — *Bull. Soc. franç. Minér.*, 4, 169.
- AMHAM, C., ROBERTSON, F. (1951). — *Amer. Miner.*, 36, 916.
- GORIEV, D. P. (1934). — *Zbl. Miner.*, 219-23.
- UBENMANN, U., NIGGLI, P. (1924). — *Die Gesteinmetamorphose*, I. Berlin.
- NER, J. W. (1930). — *Econ. Geol.*, U.S.A., 25, 697-719.
- (1942). — *Amer. Miner.*, 27, 131-4.
- RKER, A. (1939). — *Metamorphism.* Londres.
- TEFEUILLE (1877). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 85, 952.
- TEFEUILLE, PEAN de SAINT-GILLES (1887). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 104, 508.
- NRICH, E. W. (1950). — *Amer. Miner.*, 35, 172.
- CHEN, C. S. (1935). — *Trans. Inst. Min. metall.* 44th session 255-336.
- NEDY, G. C. (1944). — *Econ Geol.*, U. S. A., 39, 25-31.
- LER, A. (1949). — *J. Geol.*, U. S. A., 57, 592.
- ITZ, W. (1926). — *Zbl. Miner.*, A. 376-8.

- KURYLENKO, C. (1930). — *Bull. Soc. franç. Minér. cristal.*, 73, 49-54
424-59.
- LACROIX, A. — Sur la cordiérite dans les roches éruptives en général
propos de quelques particularités de laves à cordiérite (no
manuscrite inédite vers 1905-6).
- LEHNER, V., MERRIL, H. B. (1917). — *Amer. Chem. Soc.*, 39, 2630-8.
- LANDERGREN, S. (1945). — *Ark. Kem. Mineral. Geol. Sverige*, 199, n^{os}
et 26.
- MACHATSCHKI, E. (1929). — *Z. Kristallogr., Dtschl.*, 70, 241.
- MAKINEN, 1917. — *Geol. Fören. Förhandl.*, Stockholm, 39, 421..
- MENZER, G. (1929). — *Z. Kristallogr., Dtschl.*, 69.
- MICHEL-LÉVY, Aug. (1871). — *Bull. soc. géol. Fr.*, 181-96.
— (1893). — *Bull. Carte géol.*, 36.
- MICHEL-LÉVY, Alb., WYART, (J.) (1947). — *Mém. Soc. géol. Fr.*, 2
n^o 52, 1-36.
- MICHEL-LÉVY, Alb., WYART J., MICHEL-LÉVY, M. (1947). — *C. R. Acad.
Sci., Paris*, 225, 85-7.
- NOIL, W. (1932). — *Naturwissenschaften, Dtsch.*, 20, 283.
- NORTON, F. H. (1939). — *Amer. Miner.*, 24, 1-17.
- QUENSEL, P., GABRIELSON, O. (1939). — *Geol. Fören. Förhandl. Stock-
holm*, 61, 2-63.
- RAMBERG, H. (1949). — *J. Geol., U. S. A.*, 57, 18.
- RAMMELSBERG, C. F. (1890). — *Abh. Berliner Ak.*, 14, cité par DOELTER.
- READ (1948). — *Quart. J. geol. Soc., London*, 104, 413.
- REYNOLDS, D. L. (1946). — *Quart. J. geol. Soc., London*, 389.
- ROSENBUSCH, H. (1877). — *Abhz. Geol. Spezialkarte Elsass-Lothringe
1*, n^o 2, 2.
- SABATIER, G. (1950). — *C. R. Acad. Sci.*, 230, 1962-3.
- SCHAIER, J. F. (1950). — *J. Geol., U. S. A.*, 58, 5, 512.
- SENARMONT, H. de (1851). — *Ann. Chim. Phys.*, 32, 142-5.
- SPRING (1880). — *Bull. Acad. r. sci. Belg.*, 49 (2), 323..
- TERMIER, H., OWODENKO, B., AGARD, J. (1950). — *Notes, mémoires Ser-
géol. Maroc*, n^o 82.
- TURNER (1948). — *Geol. Soc. America. Mem.* 30.
- TUTTLE, O. F., BOWEN, N. L. (1930). — *J. Geol., U. S. A.*, 58, 5, 57.
- VAN NIEUWENBURG, C. J., BLUMENDAL, H. B. (1932). — *Rec. Trav. chim.
Pays-Bas*, 51, 705-14.
- VAN NIEUWENBURG, C. J., VAN ZON, P. M. (1935). — *Rec. Trav. chim.
Pays-Bas*, 54, 129-32.
- VAN PRAAGH, C. (1949). — *Disc. Faraday Soc.*, 5, 338.
- WARD, G. W. (1931). — *Amer. Miner.*, 16, 145.
- WRIGHT, W. I. (1938). — *Amer. Miner.*, 23, 437.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	237
APERÇU HISTORIQUE	241
Appareillage et méthode de travail	244
Taches des schistes tachetés, cordiérite, andalousite, autres sili-	
cates d'alumine	247
Les micas	253
Les tourmalines	260
Les grenats ferro-manganésifères	273
Quartz et feldspaths	279
Conclusion	287
BIBLIOGRAPHIE	291

ÉTUDE ET DÉTERMINATION MICROSPECTROGRAPHIQUE D'ABSORPTION DES MINÉRAUX DE TERRES RARES

PAR A.-P. SANDRÉA,

Laboratoire de Minéralogie du Muséum.

Sommaire. — Par projection de l'image microscopique réelle de cristaux de terres rares (xénotime) sur la fente d'un spectromètre, on a obtenu des spectres d'absorption en lumière polarisée de cristaux de $20\ \mu$ - $30\ \mu$ de diamètre. La méthode permet la discrimination sûre du xénotime de ses isomorphes, zircon et thorite.

L'importance des terres rares au point de vue géochimique dans les formations éruptives acides et alcalines est un fait reconnu.

Les terres rares peuvent étre présentes sous forme de traces incluses dans des minéraux quelconques ou bien concentrées dans des minéraux où elles jouent un rôle essentiel.

Ces derniers cas ont été étudiés surtout dans des pegmatites où la taille des cristaux permet une séparation aisée et sûre.

Le problème de leur détermination dans les roches où ces minéraux sont disséminés et de taille souvent très petite, est plus complexe. Ces minéraux d'indice de réfraction et de biréfringence généralement élevés se présentent fréquemment à l'état d'inclusions, dont les dimensions sont à la limite des possibilités de détermination optique ; leur séparation, qu'il s'agisse de séparation par densité ou de résection sous le microscope est très délicate ; l'analyse microchimique se heurte à la difficulté de séparation des éléments rares d'un groupe dans les précipités oxaliques généralement utilisés. L'analyse spectrale d'émission requiert la même sécurité dans la séparation des fragments et vu les quantités minimales que l'on arrive à réunir, nécessite l'utilisation de techniques complexes (double arc, cathode renversée).

Enfin, les minéraux de terres rares étant souvent radioactifs et métamictes, leurs cristaux fournissent un spectre de rayons X diffus.

L'absorption des terres rares, étant par contre un phénomène ionique, persiste après la destruction du réseau cristallin. Dans les cas les plus courants des roches cristallines, le diamètre moyen de ces cristaux est généralement inférieur à 60 μ ; nous avons par conséquent essayé d'aboutir à l'analyse par la spectrale d'absorption de l'image microscopique réelle du cristal, dans des conditions d'appareillage permettant une mesure spectrométrique précise.

Des essais divers, tendant au repérage qualitatif de minéraux en fonction de leur spectre d'absorption de la lumière naturelle non polarisée ont abouti à l'établissement d'une technique utilisée sur les gros cristaux par les gemmologistes (Leeley, 1911, 1928 ; Kraus et Holden, 1925). Des études oradiques poursuivies sur des microcristaux en lumière polarisée, n'ont pas eu de suite (Weigel, 1928 ; Wherry, 1915, 1917, 1929), malgré quelques résultats encourageants ; cela semble dû aux possibilités spectrométriques par trop limitées. (Leeley, 1911 ; Wherry, 1915.)

Henri Becquerel et W. Ramsay ont été les premiers à avoir étudié les spectres d'absorption de cristaux naturels en lumière polarisée. Becquerel a identifié le dichroïsme de certaines pièces, à des absorptions différentes de la lumière polarisée, en fonction des incidences mutuelles des directions privilégiées du cristal et de la lumière. A ces dichroïsmes d'absorption continue, correspond chez les complexes de terres rares une absorption discontinue de raies, fonction directe des cations rares présents (Becquerel, 1885, 1887, 1888, 1889 ; Ramsay 1888).

Enfin, J. Becquerel a établi :

- 1) les spectres des divers sels d'une même terre rare sont très peu différents ; les groupements de raies ainsi que les raies isolées sont identiques ; le spectre est donc dû à l'ion de la terre rare et non à la molécule, ni à un ion complexe ;
- 2) les légères différences constatées d'un cristal à l'autre proviennent de niveaux énergétiques différents et de modifi-

cations dans les possibilités de transition provoquées par les ions associés ou avoisinants dans le réseau (J. Becquerel 1925, 1930) ;

3) dans les cristaux naturels étudiés par Becquerel (xénotime, bastnaésite, parisite) l'ion de terre rare est triplement ionisé, donc pour ces cristaux le spectre fondamental ne peut être obtenu qu'à très basse température. Les expériences basse température ainsi que l'introduction du cristal absorbant dans un champ magnétique ont révélé des séries de phénomènes de dédoublement des raies qui ne rentrent pas dans nos préoccupations.

Toutes les déterminations ayant pour objet le repérage qualitatif d'ions de terres rares dans les minéraux seront faites dans l'air, à température ordinaire, sans adjonction de champ magnétique.

Deux montages analogues dans leur principe, différents uniquement dans les détails ont été réalisés :

I) au Laboratoire de Minéralogie du Muséum ; le problème essentiel était d'obtenir la projection par faisceau le moins divergent possible d'une image réelle de grandeur légèrement supérieure à la fente d'entrée de spectroscopie (0,8 à 5 mm.) et susceptible de couvrir la face d'entrée du prisme. La petitesse de l'objet nécessitant un condenseur de grande ouverture et de luminosité puissante, nous nous sommes adressés au condenseur holoscopique de Watson (O. N. 1,35, diamètre de frontale 12 mm). Ce condenseur fournit un cône de lumière très plat, à concentration ponctuelle. Cette dernière permet l'utilisation d'objectifs lumineux d'ouverture modérée et de longue focale. Comme oculaire nous avons utilisé un oculaire de projection Zeiss. L'ensemble a été monté sur un ancien statif Nachet équipé d'un nicol. L'image obtenue était projetée sur la fente d'entrée du monochromateur à déviation constante de Fuess. Le spectre obtenu était net, les raies étaient identifiables, mais l'astérisme en était trop accentué et l'approximation spectrométrique trop grande.

II) Le second montage a été réalisé au Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne. Le microscope utilisé était l'ancien

modèle polarisant de Zeiss aux deux nicols escamotables. Il comporte un condenseur de 1,45 d'ouverture, une frontale de 24 mm. de diamètre, un plan convexe de sortie de 5 mm.; l'ouverture du cône au sommet est de 125° . Un objectif sec de 95 O. N. ou à immersion de 1,30 O. N., ainsi qu'un oculaire de projection X 12,5 de Leitz complétaient l'équipement. Pour les mesures spectrométriques ont été utilisés successivement un spectroscopie à déviation constante de Pellin et un spectromètre de Jobin. Les spectres obtenus ont été photographiés à l'aide du spectromètre monochromateur de Hilger équipé avec une chambre photographique. Le spectre étalon était celui de l'arc-à vapeur de mercure; le spectre continu était fourni par une lampe à ruban de tungstène. Les plaques utilisées ont été des Ilford (Long range spectrum à sensibilité homogène de 4.000-8.000 Å). Les spectres clairs ont été obtenus avec ce dernier montage sur des cristaux de $400\mu^2$ - $900\mu^2$ de surface.

Les objets à analyser sont susceptibles de se présenter sous forme de particules, inclusions cristallines, orientées dans la plaque mince de façon quelconque.

Il est donc nécessaire d'établir préalablement tous les types de spectres d'absorption de la lumière polarisée, susceptibles d'être fournis par un minéral en fonction de son orientation par rapport à l'axe de la lumière.

Afin d'éprouver la méthode dans des conditions d'observation analogues à celles de la plaque mince, plusieurs préparations de xénotime, préalablement déterminé par les voies optiques et chimiques, et provenant de Dattas (Brésil), Arendal (Norvège) et Madagascar, ont été examinées mesurant chacune entre $400\mu^2$ et $2.500\mu^2$. Ces préparations ont fourni chacune des spectres identiques, accusant en premier lieu la présence massive d'erbium, et les raies fortes du samarium. L'erbium donne ses trois systèmes de raies rouges, oranges et vertes :

6.700 Å	6.484 Å	5.430 Å
6.669 —	6.459 —	5.413 —
	6.407 —	5.400 —

Le samarium montre les raies : 5.593, 4.995 Å.

Des cristaux provenant de chacun des gisements indiqués ont été orientés perpendiculairement et parallèlement à l'axe optique. Leurs spectres ont été pris en lumière naturelle (non polarisée) et avec un nicol.

a) Sans nicol : quelle que soit l'orientation du cristal, le spectre ne change pas,

b) avec un nicol : section perpendiculaire à l'axe (isotropie) : le spectre est identique au précédent,

c) avec un nicol : section parallèle à l'axe optique, orientée selon n_p : le spectre est encore identique au cas précédent,

d) avec un nicol : même section orientée selon n_g : le spectre est différent. La polarisation des raies est violemment accusée dans le rouge et dans le vert. Dans les deux types de spectres les raies appartiennent aux mêmes éléments. Le xénotime montre donc un intense dichroïsme d'absorption de raies.

Ce dichroïsme ne correspond pas à un polychroïsme d'absorption continue, le minéral étant non polychroïque même en section épaisse. Les spectres selon les deux directions ayant le même ion à l'origine, l'hypothèse attribuant le polychroïsme aux interventions dans l'absorption d'ions différents est affirmée ; les différences d'absorption seraient donc dues à la direction des liaisons, direction différente selon les axes cristallographiques.

En résumé, tous les xénotimes donnent deux spectres d'absorption de la lumière polarisée. Le spectre est essentiellement celui de l'erbium.

Même à l'échelle microscopique la confusion avec le zircon ou la thorite n'est pas possible, aucun de ces derniers minéraux ne possédant une tolérance de réseau suffisante pour retenir des teneurs en erbium susceptibles d'intervenir de façon massive dans l'absorption.

Là s'arrêtent les essais préliminaires destinés à éprouver la méthode. Le même montage, moyennant le remplacement de la source de lumière à spectre continu par une source à arc ou étincelle stabilisée, est susceptible de rendre des services pour l'établissement des courbes d'absorption visible dans des minéraux colorés ne donnant pas de spectre de raies.

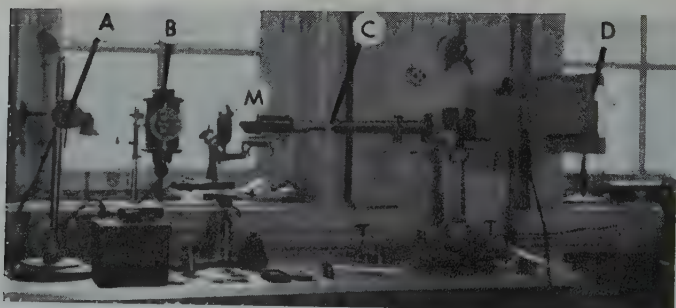


FIG. 1.

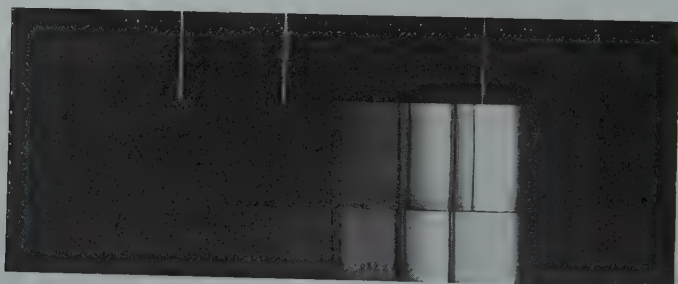


FIG. 2.

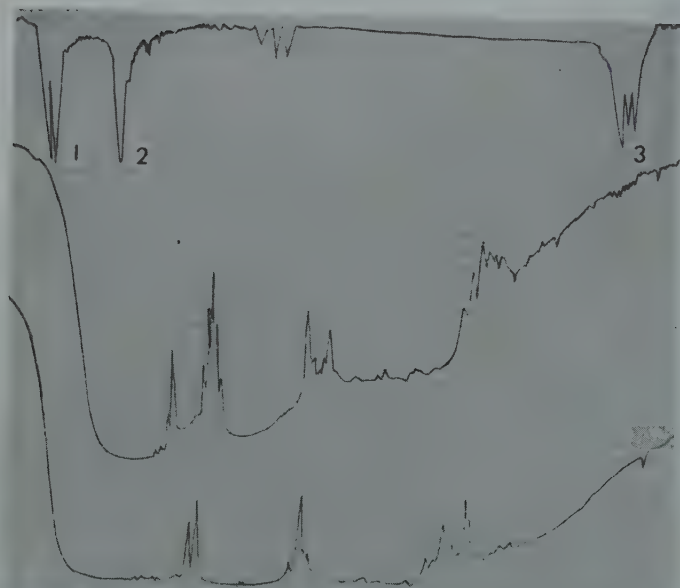


FIG. 3.

BIBLIOGRAPHIE

- BECQUEREL, H. (1885). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 101, 1252.
 BECQUEREL, H. (1887). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 103, 198.
 BECQUEREL, H. (1888). — *Ann. Chim. Phys.*, 14, 17.
 BECQUEREL, H. (1889). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 108, 891.
 BECQUEREL, H. et DE HAAS, W. J. (1930). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 191, 182.
 BECQUEREL, J., DE HAAS, W. J. et KAMERLING ONNES (1925). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 181, 758.
 BECQUEREL, J., DE HAAS, W. J. et KRAMERS, H. A. (1930). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 191, 839.
 KAYSER (1939). — *Ritschl. Tabelle der Hauptlinien der Linienspectren aller Elemente*. II.-e Auflage, Berlin, Springer, VI g.
 KEELEY (1914). — *Proc. Acad. nat. Sc.*, Philadelphia, 106.
 KRAUS et HOLDEN (1925). — *Gems and gem material*, Londres, Mac Graw et Hill, 60.
 KEELEY (1928). — *Notes on absorption spectra of certain minerals*. Festschrift Victor Goldschmidt, Heidelberg, 170.
 PRANDTL, W. et SCHNEIDER, K. (1934). — *Z. anorg. allg. Chem.*, Dtsch., 220, 107.
 RAMSAY, W. (1888). — *Svenska Akad. Avhandlingar* 11, n° 1, Stockholm, Högskola, Meddelanden, n° 54.
 WEIGEL et HABICH (1928). — *Neues Jahrb. Mineral. Geol. Palaeontol. Abhdlg.*, Dtsch., Abt. A, 57, 1.
 WEIGEL et UFER (1928). — *Neues Jahrb. Mineral. Geol. Palaeontol. Abhdlg.*, Dtsch., Abt. A, 57, 397.
 WHERRY, E. T. (1915). — *Smiths. Misc. Collect.*, 65, n° 5.
 WHERRY, E. T. (1917). — *J. Washington Acad. Sc.*, n° 7, 143.
 WHERRY, E. T. (1929). — *Amer. Miner.*, 14, 299.
 WHERRY, E. T. (1929). — *Amer. Miner.*, 14, 323.

Explication de la planche.

FIG. 1. — Montage microspectrographique d'absorption.

Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

- a) lampe à vapeur de mercure fournissant l'échelle spectrale;
 b) lampe à ruban de tungstène sur pivot escamotable; m) microscope polarisant de projection; C-D spectromètre de Hilger équipé avec la chambre photographique.

FIG. 2. — Spectres d'absorption d'un cristal de xénotyme de DATTAS (Brésil).

- Section parallèle à l'axe optique; long. 20 μ , largeur 27 μ . Lum. Pol.
 En haut: selon N_g ; au milieu: selon N_p ; en bas: échelle du H_g ;
 R \longleftrightarrow V (émission).

FIG. 3. — Enregistrement microphotométrique du cliché ci-dessus.

- En haut: échelle H_g ; au milieu: xénotyme N_p ; en bas: xénotyme N_g . 1, 2, 3; raies fortes H_g .

RECHERCHES SUR LA SYNTHÈSE DES MINÉRAUX ARGILEUX

PAR M^{lle} S. CAILLÈRE, MM. S. HÉNIN ET J. ESQUEVIN,

Laboratoire de Minéralogie du Muséum,
Laboratoire des sols (C. N. R. A.) Versailles.

Sommaire. — Des expériences ont été entreprises afin de préparer des argiles par attaque électrolytique d'anodes de divers métaux baignant dans une solution de silicate alcalin. Les substances obtenues semblent constituées par des feuillets d'hydroxydes séparés les uns des autres par une couche de molécules d'eau, l'ensemble étant stabilisé par une petite quantité d'anions siliciques répartis à la surface des feuillets d'hydroxydes. Des produits analogues ont été obtenus en substituant au silicate de la solution un aluminat ou un chromate alcalin.

Dans des expériences antérieures nous avons pu obtenir par électrolyse de solution de silicate de Na sur des électrodes de Mg des produits présentant certains caractères des antigorites (Caillère, S. et Henin, S., 1947).

Nous avons repris ces recherches avec le double but de préciser les conditions de préparation de ces substances et d'en étudier la nature.

Notre plan de travail a consisté à faire varier les modes opératoires dans de larges limites et tout d'abord nous avons travaillé à des températures voisines de l'ébullition, espérant ainsi obtenir des produits mieux cristallisés.

I. — PREMIÈRE SÉRIE D'ESSAIS AU VOISINAGE DE 100°.

Des solutions dont la composition est reproduite ci-dessous ont été soumises à l'électrolyse en utilisant une anode en magnésium et une différence de potentiel de 90 volts, la conductibilité du milieu était suffisante pour que la température s'élève spontanément au voisinage de l'ébullition. Le volume de la solution était toujours de 300 cc.

TABLEAU I

PRODUITS UTILISÉS(*)	QUANTITÉS POUR 300 CC. D'EAU DISTILLÉE
K ₂ O.....	0,4 g.
Silicate de soude.....	5 cc.
Silicate de soude.....	6 cc.
Silicate de soude.....	6 cc. + 5 cc. NaCl 10 %.
Silicate de soude.....	4 cc. + 0,5 cc. acide acétique.
Silicate de soude.....	4 cc. + 4 cc. acide acétique.
Silicate de soude.....	4 cc. + 6 cc. acide acétique.
Silicate de soude.....	4 cc. + 0,5 cc. HCl.
Silicate de soude.....	4 cc. + 2 cc. HCl.
Silicate de soude.....	4 cc. + 4 cc. HCl.
Silicate de potasse....	4 cc.
Silicate de potasse....	6 cc.

*) Il s'agit des solutions de silicates concentrées du commerce.

Au bout de quelques heures, les produits obtenus dans tous les cas ont donné aux rayons X un diagramme de brucite. Seul l'état de cristallinité variait d'un produit à l'autre comme le montrent les diagrammes thermiques.

Les compositions des produits obtenus par cette technique sont présentées dans le tableau II. En dehors de 51-30 résultant de l'électrolyse d'une solution de potasse pure, les analyses font toujours ressortir la présence de silice.

Comme les diagrammes de rayons X ne mettent en évidence que les raies de la brucite, il en résulte que la silice et le magnésium qui pourraient lui être associés doivent exister sous forme colloïdale.

TABLEAU II

	51-2	51-18	51-29	51-30
SiO ₂	28,6	14,8	15,2	
MgO.....	70,2	48,7	44,5	62,5
H ₂ O.....		36,7	39,2	38,2

Les courbes de thermobalance mettent en évidence des pertes de poids de l'ordre de 35 à 40 % mais dans chacun des cas 10 à 15 % de cette eau s'échappe à basse température doivent donc être attribués à la déshydratation d'un gel.

Comme la brucite pure perd 32 % d'eau et que les produits étudiés contiennent environ 25 % d'eau analogue l'eau de constitution de la brucite on peut estimer $(25 \times 100)/32 = 80\%$ la proportion de brucite dans le produit.

II. — SECONDE SÉRIE D'ESSAIS A LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE

Les conditions de ces expériences étaient voisines de celles utilisées dans la série précédente, mais la différence de potentiel entre les électrodes étant réduite, l'intensité du courant traversant la solution était très faible et la température restait voisine de celle du laboratoire. Les solutions utilisées avaient la composition suivante :

TABLEAU III

PRODUITS UTILISÉS	EAU	TEMPÉRATURE
Silicate de Na : 5 cc.....	400 cc.	20°
Silicate de Na : 10 cc.....	400 cc.	20°
Silicate de Na : 10 cc. + 20 cc. NaCl 10 %.	400 cc.	

Dans ces conditions les vitesses d'attaque ont été considérablement ralenties et la durée totale des essais prolongée jusqu'à 96 heures.

Les substances formées varient d'ailleurs avec le temps. Au début on recueille de petites plaquettes blanches accompagnées parfois d'une phase colloïdale.

Vers la 15^e heure on obtient des plaquettes grises puis noires vers la 24^e heure. La quantité de substance formée est assez considérable, elle correspond à une attaque profonde de l'électrode qu'il faut souvent remplacer. Ce remplacement

paraît pas changer l'allure du phénomène, le produit formé sur la nouvelle électrode ayant le même aspect que ceux obtenus avec l'ancienne. Vers la 60^e heure, la teinte des produits formés s'éclaircit et prend une couleur beige. L'électrode s'attaque beaucoup moins vite. A la surface du liquide cependant, le phénomène reste plus intense, il se forme une masse d'aspect gélatineux et fréquemment la lame de magnésium plongée tombe au fond du bécber. Il est à noter que toutes les substances de couleur grise ou noire ont tendance à devenir blanches après séchage à 105° ou même à l'air.

Le tableau IV reproduit la composition chimique de substances qui ont donné des diagrammes de rayons X présentant certaines similitudes avec ceux des antigorites.

TABLEAU IV

ÉLÉMENTS	51-55	51-65	51-54
SiO ₂	24,2	41,7	22,6
MgO	39,4	42,8	48,2
H ₂ O	37,4	46,0	29,3

La teneur en silice de ces substances est du même ordre que celle des produits précédents (tableau II) alors que leur degré de cristallinité est très différent.

L'analyse thermique différentielle fournit à cet égard des indications précieuses. En examinant les courbes de la figure 1 on remarque qu'ils correspondent à des substances variant de l'état colloïdal à un état cristallin bien caractérisé. Les courbes I et II ont été effectuées, la première avec un précipité obtenu par voie directe, seules les raies (*hko*) de la eucite, apparaissent sur son diagramme de rayons X. Le second préparé par électrolyse est complètement amorphe. Ce qui caractérise l'inorganisation des deux substances est l'absence des phénomènes endothermiques à haute température.

Au contraire les courbes suivantes présentent outre un départ

d'eau hygroscopique assez considérable, un phénomène endothermique situé vers 400° dont l'importance croît avec le numéro des diagrammes. Le n° IV correspond à un produit que les rayons X permettent de rapprocher de l'antigorite. On notera également l'existence de phénomènes exothermiques

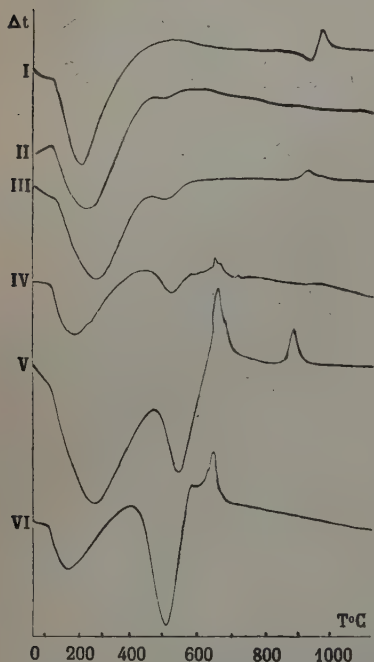


FIG. 1. — Courbes thermiques différentielles des produits silicatés. I : Obtenu par précipitation directe ; Préparés par électrolyse ; II et III : Produits peu cristallins ; IV : Produit à 7, 7-8 Å ; V et VI : brucite.

soit tout de suite après l'inflexion endothermique, soit à une température plus élevée d'importance parfois considérable. Ils doivent être attribués à une liaison très intime de la silice et de la magnésie permettant la cristallisation d'un silicate anhydre. Les courbes V et VI correspondent à des produits brucitiques.

Les courbes de thermobalance (figure 2) vérifient ces données, la première correspond à une substance purement colloïdale qui a fourni la courbe différentielle n° II figure 1. Les courbes thermopondérales II et III correspondent respectivement à des produits antigoritique et brucitique. Ainsi ce ne sont pas les corps les mieux cristallisés qui s'apparentent aux silicates, c'est d'ailleurs ce

que va montrer l'étude aux rayons X.

Les préparations recueillies entre la 40 et la 60^e heure ont souvent donné des diagrammes de rayons X rappelant ceux des antigorites n° II, planche I, cependant ils présentent au lieu d'une raie un halo assez large et très intense vers 8 Å avec un bord externe net à 7,7 Å, un halo très faible se situant vers 3,7 Å peut être considéré comme un second ordre du

précédent. Quant aux substances formées au début et à la fin, ce sont des hydroxydes soit cristallisés, soit amorphes.

Considérons maintenant les autres raies des diagrammes en rapprochant de l'antigorite (diagramme III, planche I). On trouve fréquemment des raies à 4,7 Å que l'on ne peut attribuer à l'équidistance (110) de ce minéral. On observe une raie très intense à peu près à la même équidistance avec la brucite, mais elle correspond alors à une raie (001) de l'hydroxyde. Il est remarquable

que les produits présentant le plus nettement le halo de grand écartement à 7,7-8 Å ne possèdent pas ou presque celui à 4,7 Å. En d'autres termes nous pensons avoir affaire à un mélange de brucite et d'un silicate voisin de l'antigorite. On peut établir une autre distinction entre les constituants de ce mélange, elle est basée sur l'intensité de la raie à 2,57 Å, qui, faible dans la brucite est intense dans la phyllite où elle correspond à (130). Au contraire dans le cas de la brucite (diagrammes III et IV, pl. II), on observe une raie très intense à 2,35 Å qui est absente dans le silicate. Quand on compare les diagrammes de produits purement brucitiques à ceux qui présentent la raie vers 7,7-8 Å, on observe corrélativement l'intensification de la réflexion qui correspond à l'équidistance (130). A titre de comparaison il a été préparé par simple précipitation un silicate de magnésie hydratée. Un tel précipité ne présente que les raies de la série (*hko*) des phyllites ainsi que l'ont déjà signalé Strese, H. et Hofmann, U., 1941. En effet, sur le diagramme de rayons X (V, pl. I) on ne reconnaît que les équidistances (110)-(130)-(240) et (330) des

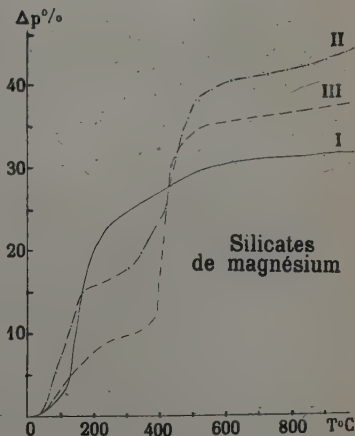


FIG. 2. — Courbes thermopondérales de produits silicatés. I : entièrement colloïdal ; II : « antigoritique » ; III : brucitique.

silicates phylliteux. En outre, les raies sont dissymétriques, ce qui est caractéristique d'un empilement désordonné des cristaux.

En comparant ce diagramme avec celui du produit obtenu par attaque électrolytique, on constate dans les deux la présence de la raie (130) mais ils diffèrent par l'absence de la réflexion (110) dans le second cas. C'est un fait qui paraît surprenant puisqu'il s'agit pour l'un et l'autre de produits de néoformation. Il semble donc que l'ordre qui a été établi suivant (001) par l'emploi de l'électrolyse l'ait été au détriment de l'ordre suivant (*hko*).

Afin de préciser la connaissance du produit antigoritique, celui-ci a été chauffé vers 300°. Sous l'influence de ce traitement, le halo central s'élargit et il ne présente plus de maximum net, l'équidistance du bord intérieur du halo correspond à 7 Å (diagramme I, planche I). En même temps la raie à 4,70 Å s'intensifie sensiblement. Tout semble donc se passer comme s'il existait dans le produit initial des feuillets brucitiques séparés par des couches d'eau qui s'échappent au cours du chauffage permettant à ces feuillets de se rapprocher. Ceci se traduirait sur le diagramme par un renforcement de la raie (001) de la brucite à 4,70 Å, seuls les feuillets séparés les uns des autres par de la silice restent maintenus à une équidistance de l'ordre de 7,5 Å.

Quant à l'étalement de la raie centrale il semble logique de l'attribuer à une interstratification de ces divers types de feuillets.

En chauffant jusque vers 375° la substance subit une transformation profonde, elle achève de se déshydrater et on constate à l'aide des rayons X qu'il s'est formé du périclase (diagrammes I et II, pl. II).

En résumé, les substances obtenues sont constituées par des feuillets brucitiques séparés les uns des autres soit uniquement par des molécules d'eau soit par des ions siliciques et de l'eau. Ajoutons que l'examen microscopique montre qu'il s'agit de produits ayant un indice très faible et non biréfringents. Étant donné le caractère assez particulier de ces

stances nous avons essayé d'obtenir des produits de même structure en utilisant les anions aluminate et chromate.

III. — TROISIÈME SÉRIE D'ESSAIS.

PRÉPARATIONS DES ALUMINATES MAGNÉSIENS.

La solution d'aluminate a été préparée en précipitant et redissolvant l'alumine contenue dans 10 cc. de nitrate d'aluminium et 0 gr. 5 de K_2O . Cette solution est étendue par l'eau distillée jusqu'à 300 cc. et la synthèse est conduite comme dans les essais précédents. Comme la conductibilité de la solution est très élevée la température atteint environ 80° au cours de l'expérience.

Il se forme sur l'électrode de magnésium des plaquettes minces. Les diagrammes de rayons X s'apparentent nettement à ceux des silicates décrits précédemment. On observe en particulier une raie de $7,6 \text{ \AA}$ très importante et son 2^e ordre à $15,2 \text{ \AA}$ ainsi que l'on pourra en juger par le diagramme IV, comparez-le avec le diagramme I.

L'analyse chimique des produits 52-31 et 51-33 montre que la quantité d'alumine contenue dans le milieu est faible par rapport au magnésium. En outre il est possible qu'une partie de l'alumine se trouve dans la couche brucitique. Il y a donc une grande analogie avec les silicates.

TABLEAU V

	51-33	52-31	51-67
SiO_2			6,2
Al_2O_3	14,4	19,25	2,7
MgO	46,2	42,70	55,8
H_2O	40,1	37,80	35,4

D'autre part on observe sur ces diagrammes la présence de raies de la brucite. Celles-ci étant d'intensité variable il semble

que l'on ait un mélange d'aluminate et d'hydrate de magnésium.

Cette interprétation se trouve confirmée par l'examen des diagrammes de plaquettes orientées sur lesquelles on voit que l'orientation affecte les équidistances correspondant à 7,6 Å

3,8 Å d'une part et 4,66 et 2,3 d'autre part, c'est-à-dire (001) (002) de l'aluminate et de brucite.

Enfin par chauffage à 350° on obtient également le périclase. L'étude thermique des aluminates vient encore renforcer la ressemblance avec les silicates.

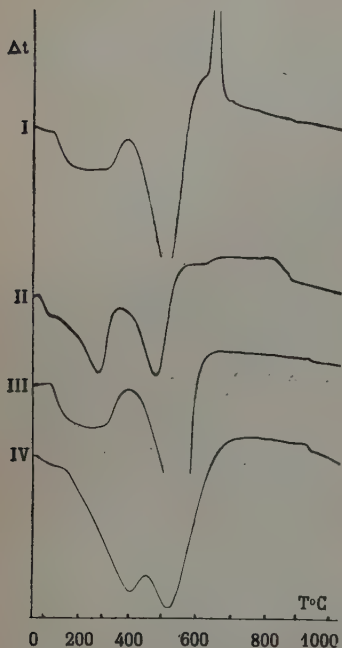


FIG. 3. — Courbes thermiques différentielles d'aluminates. I, II, III : aluminates magnésiens ; IV : aluminate de nickel.

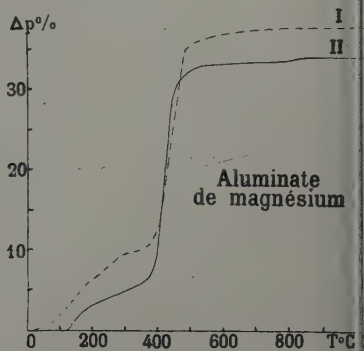


FIG. 4. — Courbes thermopondérales. I : aluminate de magnésium ; II : aluminate de magnésium chauffé à 300° puis réhydraté à l'air.

Les courbes thermiques différentielles, courbes I, II, III de la figure 3, présentent vers 120° un crochet de départ d'eau hygroscopique marqué suivi d'un second phénomène endothermique important vers 400°. Celui-ci se termine parfois par un crochet exothermique.

Les courbes de thermobalance (figure 4) montrent un départ d'eau hygroscopique d'environ 10 % jusqu'à 250° puis après un palier se manifeste une seconde perte de poids s'a-

monçant vers 375° et se terminant vers 500°. Ces courbes font apparaître une teneur en eau totale variant de 35 à 40 %.

Si on chauffe un aluminat au-dessous de 300°, puis qu'on le laisse refroidir à l'air on constate par un nouveau chauffage qu'une fraction importante de l'eau hygroscopique a été réabsorbée. On pourra juger de ce phénomène en examinant les courbes I et II de la figure 4).

On verra également que la quantité d'eau perdue au cours du second chauffage est diminuée d'une quantité correspondant à l'hystérésis d'hydratation.

Ajoutons pour terminer que ces substances sont nettement réfringentes et possèdent un indice de 1,50.

Préparation des silico-aluminates de magnésium.

La qualité des diagrammes obtenus en présence d'aluminat conduit à utiliser en solution un mélange de silicate et d'aluminat de sodium en vue d'obtenir des silicates mixtes mieux cristallisés.

Dans ce but la synthèse commencée avec 10 cc. de silicate de soude était après 10 heures d'électrolyse additionnée de 10 cc. de la solution d'aluminat contenant 9 gr. d'aluminium par litre.

Les produits obtenus, dont une analyse figure dans le tableau V (51-67), présentent toutes les caractéristiques d'une substance silicatée. Ceci aussi bien vis-à-vis des rayons X que des méthodes thermiques.

IV. — QUATRIÈME SÉRIE D'ESSAIS.

PRÉPARATION DES CHROMATES MAGNÉSIENS.

Comme dans le cas de l'aluminat nous pouvions espérer en utilisant le chromate obtenir des substances mieux cristallisées que les silicates.

Le mode opératoire consistait à électrolyser un bain contenant 10 cc. d'une solution de chromate de potassium à 10 % dans 400 cc. d'eau. La température était de 30°. Il se forme

rapidement un précipité brun verdâtre. Celui-ci examiné aux rayons X montre qu'il est formé d'un produit bien cristallisé. Le diagramme présente les caractères essentiels de ceux des silicates, en particulier la raie de grand écartement à 7,3 Å et son 2^e ordre.

De plus, on note la présence à 4,5 Å d'une raie faible comparable à (110) des phyllites. Enfin aucune réflexion spécifique de la brucite n'apparaît nettement sur le diagramme.

TABLEAU VI

	52-13	51-16	51-72
SiO ₂	»	19,7	»
Al ₂ O ₃	»	»	12,8
Cr ₂ O ₃	25,8	4,7	9,55
MgO	34,2	38,0	36,5
H ₂ O	39,8	39,8	41,0

Les courbes thermiques s'apparentent nettement à celle des aluminates (courbes I et II, figure 5).

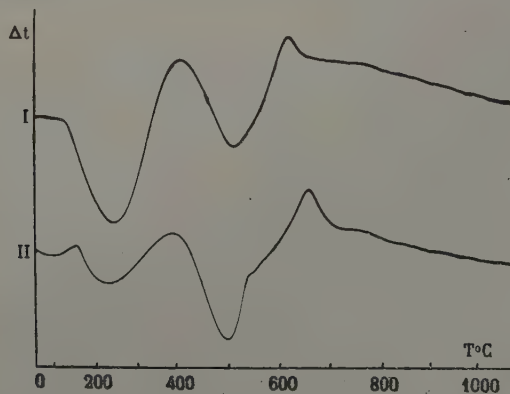


FIG. 5. — Courbes thermiques différentielles de chromates de magnésie.

Quant à la courbe de thermobalance, elle permet également de mettre en évidence un départ d'eau hygroscopique et un

part d'eau de constitution. Le chauffage de ces substances au-dessus de 300° amène la disparition des grandes équidistances. Ce comportement est tout à fait analogue à celui des silicates et aluminates. Comme dans le cas de ces derniers, les chromates chauffés à 300° peuvent reprendre une partie notable de leur eau hygroscopique ainsi qu'on pourra constater en comparant les courbes I et II de la figure 6. Ces produits sont isotropes, ils possèdent un indice de réfraction très élevé de 1,74.

Les silico-chromates et les chromo-aluminates.

Ces produits ont été préparés par électrolyse de 600 cc. d'une solution contenant outre du chromate de potassium, soit du silicate soit de l'aluminate de potassium à 10 %. Dans tous les cas les diagrammes des produits obtenus sont maximum équivalents à la meilleure préparation effectuée à partir du silicate pur. Cependant celle-ci semble plus améliorée en présence de ces diverses substances qu'en leur absence.

Ces produits ont comme les silicates un indice de réfraction faible mais sont légèrement biréfringents.

Les analyses chimiques de ces corps sont données dans le tableau VI (51-16, 51-72). Dans le cas des chromates, comme dans celui des silicates, on constate une faible teneur en anion.

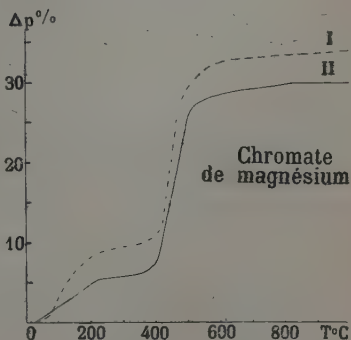


FIG. 6. — Courbes thermopondérales. I : chromate de magnésium ; II : chromate de magnésium chauffé à 300° puis réhydraté à l'air.

V. — PRÉPARATION DES PRODUITS COBALTIFÈRES.

Pour généraliser les résultats précédents, nous avons utilisé d'autres métaux que le magnésium. Déjà il était apparu qu'on pouvait obtenir avec le nickel (Caillère, S. et Henin, S.,

1948 ; Longuet, J., 1948) des produits identiques aux composés magnésiens en suivant une technique analogue (Voir par exemple la courbe IV, figure 3). D'autre part, ni le fer ni l'aluminium ne donne naissance à des corps comparables.

Nous avons cette fois-ci utilisé le cobalt dont l'hydroxyde a une structure de type brucitique. Au contraire, les hydroxydes de fer et d'alumine ont plusieurs structures et on sait qu'elles ne donnent pas, par simple précipitation, d'hydroxyde phylliteux.

Si nous obtenons toujours le même type de substance avec des métaux donnant des hydroxydes brucitiques nous pourrions donc en conclure que l'un des facteurs régissant la formation de ces corps est justement la structure de l'hydroxyde.

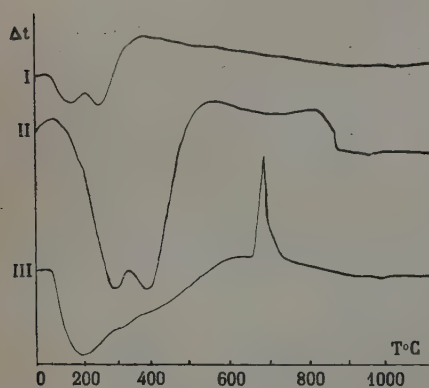


FIG. 7. — Courbes thermiques différentielles de produits cobaltifères. I : chromate ; II : aluminate ; III : silicate.

La préparation des silicates, chromates et aluminates de cobalt a été effectuée dans les mêmes conditions que celles de leurs équivalents magnésiens et ont été identiques. Les diagrammes de rayons X présentent de grandes ressemblances quant aux courbes thermiques (figure 7) et aux diagrammes thermopondéraux, ils sont très voisins. Nous pouvons con-

clure de cette comparaison, que les trois métaux, magnésium, nickel et cobalt, permettent de préparer des produits de même structure.

VI. — ESSAI D'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.

Les faits expérimentaux réunis au cours de ce travail conduisent à admettre que les produits préparés ont la structure suivante :

des feuilletts d'hydroxyde séparés les uns des autres par une couche de molécules d'eau et maintenus dans cette disposition grâce à une petite quantité d'anions combinés avec le feuillet hydroxyde.

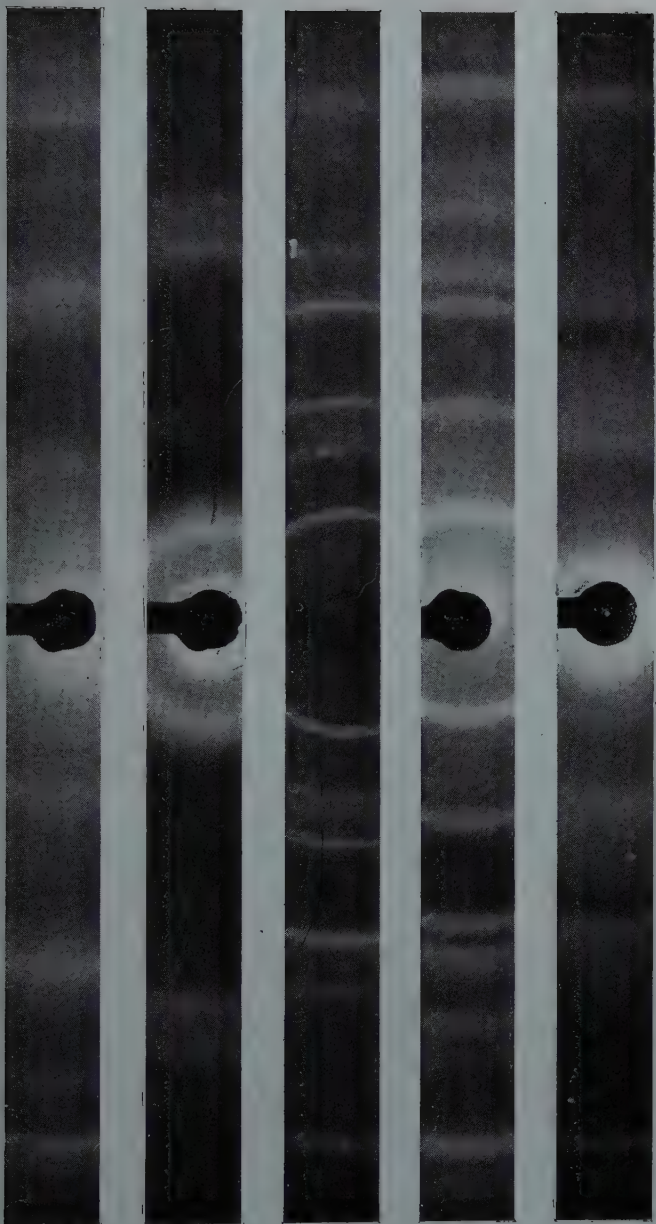
Cet édifice représente du point de vue de la genèse l'ébauche d'une structure de silicate hydraté de type antigoritique puisque nous y trouvons une couche octaédrique associée à des anions dont au moins les silicates et les chromates ont une structure tétraédrique. Il manque au produit ainsi préparé que cette seconde couche soit plus dense et convenablement organisée. Il semble difficile d'obtenir par électrolyse une telle substance car la mobilité des ions OH est très supérieure à celle des anions et on ne voit pas comment modifier leurs proportions au voisinage de l'anode sans changer la nature de l'anion et, dans le cas de la silice, sans provoquer sa précipitation. Tous les essais faits dans ce but en modifiant le pH ont jusqu'à présent échoué.

Nous croyons pouvoir conclure que ces substances se forment non par réaction du silicate sur la brucite déjà formée, mais par association de l'anion silicique ou des autres anions avec la brucite en voie de formation. Cette association donne des produits moins bien cristallisés que la brucite ou qu'un silicate normal. Quoi qu'il en soit, il paraît à peu près sûr que la structure du silicate est commandée par la structure de l'hydroxyde. Non seulement en effet, on retrouve dans les produits formés certains caractères de cette structure, mais par surcroît il n'a jamais été possible d'obtenir des substances équivalentes ni avec l'aluminium ni avec le fer. Or, on sait que ces cations ont plusieurs types d'hydroxydes et que, dans les conditions de ces expériences, ceux-ci n'ont pas la structure de type hydrargillite-brucite nécessaire.

Ainsi, bien que ces recherches ne nous aient pas permis d'atteindre le but que nous cherchions, elles fournissent cependant certaines indications qui permettront peut-être d'obtenir par d'autres voies, la synthèse des silicates hydratés dans des conditions voisines de celles qui règnent dans le lieu naturel.

BIBLIOGRAPHIE

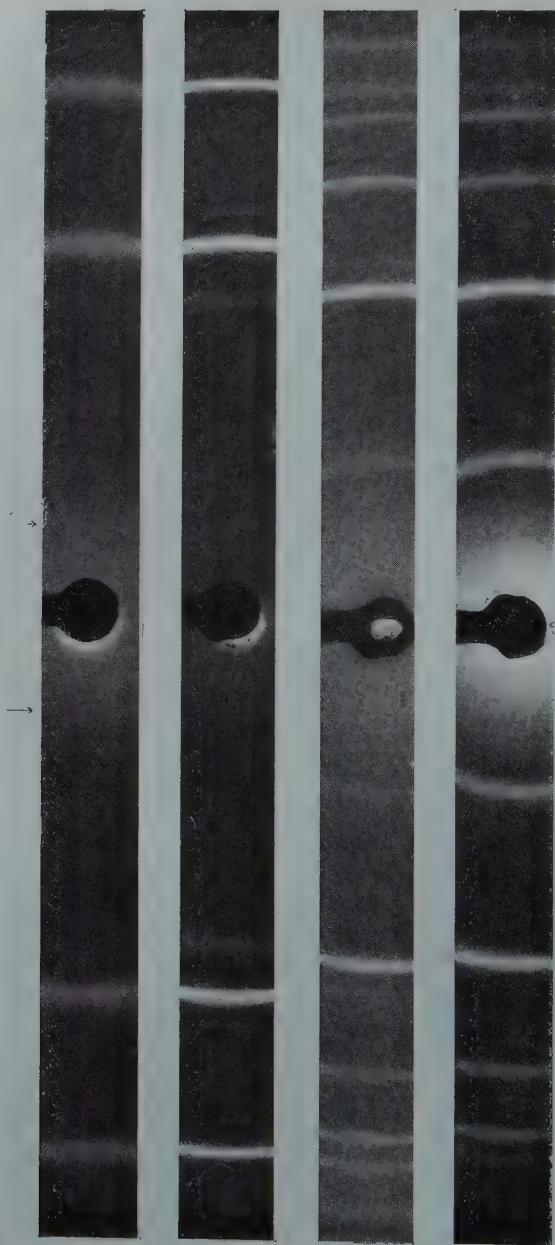
- CAILLÈRE, S. et HENIN, S. (1947). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 224, 1440.
- CAILLÈRE, S. et HENIN, S. (1948). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 226, 580.
- LONGUET, J. (1948). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 226, 579-580.
- STRESE, H. et HOFMANN, U. (1941). — *Z. anorg. allg. Chem.*, Dtsch., 2, 657.
-



Diagrammes de rayons X (examinés de haut en bas). I : silicate de magnésie chauffé à 300°; II : silicate de magnésie séché à 100°; III : antigorite (bowenite); IV : aluminat de magnésie; V : silicate de magnésie obtenu par précipitation.

N. B. — Les halos indiqués par les flèches sont dus à des effets parasites.

PLANCHE II



Diagrammes de rayons X (examinés de haut en bas). I : silicate chauffé à 350° ; II : périclase naturel ;
III : brucite naturelle ; IV : brucite de synthèse.

N. B. — Les halos indiqués par les flèches sont dus à des effets parasites.

SUR UNE VARIÉTÉ ABERRANTE DE DIASPORE DE L'URUGUAY (KAYSERITE)

PAR M. J. GOÑI,

Laboratoire, de Minéralogie de la Sorbonne et du Muséum, Paris.

Sommaire. — Dans cette étude, l'auteur montre que la kayserite, espèce décrite par le Dr K. Walther en 1921, est en réalité une variété de diaspore, présentant des propriétés optiques différentes, en particulier le signe optique et l'angle $2V$. L'auteur pense que cette différence peut provenir d'efforts mécaniques, exercés sur le minéral, dans le gisement.

Historique.

C'est en 1921, qu'on rencontre pour la première fois dans la littérature le nom de kayserite.

Dans son travail consacré à la formation des émeris de l'Uruguay, le Dr K. Walther (1921) intitule un chapitre : « Kayserite, un nouveau minéral ».

En étudiant une corindonite de Cerro Redondo Minas, il décrit un minéral (fig. 1), dont la composition chimique concorde avec celle du diaspore, mais, après un examen des propriétés optiques, il arrive à la conclusion qu'il s'agit d'un minéral différent, inconnu jusqu'alors qui résulterait de l'altération du corindon.

L'étude optique a été faite très sommairement par l'auteur.

Il a remarqué que les lames du clivage principal comportaient le maximum de biréfringence, et en a déduit qu'il s'agissait d'une lame n_g-n_p . Les traces d'un autre clivage moins facile sont visibles sur le premier. — Walther ne précise pas l'orientation cristallographique de ce deuxième clivage. Un troisième, enfin, apparaît, sa trace fait avec le second un angle de 65° - 67° .

Les indices de réfraction sont compris entre 1,74 (iodure de méthylène) et 1,68 (mélange de iodure de méthylène et x

monobromonaphtalène) d'où une biréfringence maximum de 0,060.

Les lamelles du clivage principal s'éteignent suivant la trace du second clivage. Par contre, les sections, taillées obli-

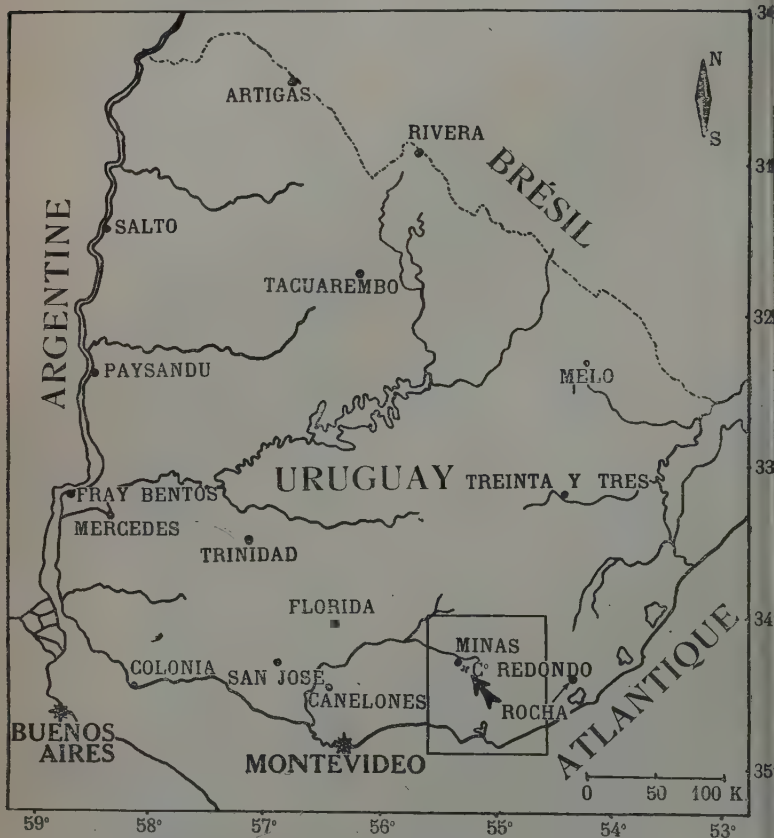


FIG. 1. — Situation géographique du gisement de diaspore de Cerro Redondo

quement par rapport au clivage principal, accusent tantôt une extinction oblique (46°), tantôt une extinction droite.

En conclusion l'auteur considère que la kayserite est monoclinique. Les déterminations qu'il a effectuées ne permettent pourtant pas cette affirmation.

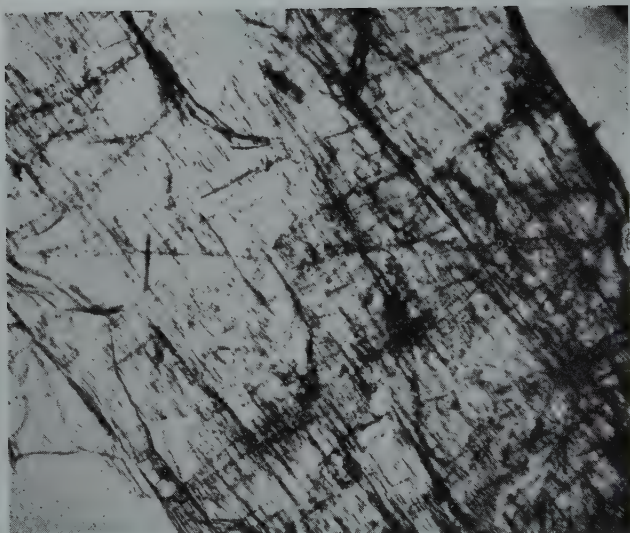


FIG. 2. — Microphotographie montrant les clivages $n_m - n_p$ du diaspore de Cerro Redondo (grossissement 60).

En 1927, Pétrushkevich décrit un nouveau minéral, la tanatarite, $O = Al - OH$ monoclinique.

En 1941, Gotman compara les propriétés optiques et les diagrammes de rayons X de la tanatarite et du diaspore. Il conclut à l'identité des deux espèces.

Dans le *Chemical index of mineral*, Hey (1950) considère l'identité de la tanatarite avec le diaspore et comme corollaire l'identité de la kayserite avec le diaspore.

Cette déduction ne nous a pas paru logique, puisque personne n'avait démontré l'identité de la tanatarite et de la kayserite. C'est pourquoi il nous a semblé intéressant d'entreprendre l'étude complète de la kayserite.

Description du minéral.

On trouve la kayserite dans les failles et fissures de la corindone. Elle se présente en grandes lamelles, de couleur blanche à blanc rosé qui lui donne un aspect phylliteux, à clivage net. Parfois, elle prend une couleur rougeâtre provenant de l'altération de la magnétite de l'émeri. Fracture conchoïdale, cassant, éclat nacré sur les faces du clivage. Dureté : 5,5 — 6,5. Densité : $3,39 \pm 0,01$.

Étude optique.

L'étude optique a été faite d'abord à l'aide de la platine de Fédoroff (U T 4 Leitz).

Sur des préparations confectionnées avec des lames du clivage principal, on obtient l'extinction, dans une position parallèle au second clivage, sans incliner la platine autour de l'axe H (Reinhard).

Par conséquent, ces lamelles sont parallèles au plan $n_g - n_p$ (fig. 2), et le deuxième clivage est parallèle à un axe de l'ellipsoïde; on constate avec la lame de gypse qu'il s'agit de n_g . D'autre part, ce deuxième clivage est perpendiculaire au plan $n_g - n_p$, il est donc parallèle à $n_p - n_m$.

Pour préciser davantage les propriétés optiques et notam-

ment pour saisir l'axe n_m , on a taillé des lames minces inclinées sur le clivage $n_g - n_p$. Il a été possible dans ces conditions de mesurer l'angle $2V = 60^\circ$ et déterminer le signe optique négatif (fig. 3).

En outre, le premier clivage apparaît à nouveau dans les préparations, et en déterminant sa position, on constate encore qu'il est parallèle au plan $n_m - n_p$.

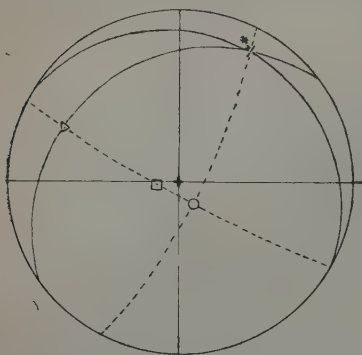


FIG. 3. — Projection stéréographique des constantes optiques du diaspore.

(\times) = 151-8; (\square) = 30° N; (\triangle) = 245-17; ($\#$) = 151-7; (\odot) = 38-72; B (-); $2V = 60^\circ$).

Le signe d'allongement est négatif. Les indices de fraction n_g et n_p mesurés par la méthode d'immersion sont : $n_g = 1,75$; $n_p = 1,70$; n_m calculé = 1,718, précision $\pm 0,001$, d'où une réfringence maximum 0,042.

On peut conclure de ce qui précède que le minéral soit orthorhombique, soit monoclinique.

Mais cette deuxième hypothèse postule une position particulière des vecteurs optiques : n_m doit être perpendiculaire au plan de symétrie et n_g parallèle à la face (001).

Étude aux rayons X.

a) Les diagrammes de Debye-Scherrer du diaspore et de la kayserite faits dans les mêmes conditions (Cu $K\alpha$ filtré) sont exactement semblables.

b) Le diagramme de Laue de la kayserite orientée avec [010] parallèle au faisceau incident présente deux plans de symétrie à 90° . L'étalement des taches montre que le réseau est moins parfait que celui du diaspore qui donne des taches très fines.

c) Un diagramme de cristal tournant autour de [001] permet de déterminer le paramètre $c = 2,81 \text{ \AA}$. Les taches for-

isées sur les strates équatoriales correspondent aux réflexions des rayons X sur le plan de clivage. On détermine ainsi $b = 9,38 \text{ \AA}$.

d) Avec le cristal ayant la même position que pour le diagramme de cristal tournant, un diagramme Weissenberg a été fait pour les strates équatoriales. L'interprétation de ce diagramme montre que la kayserite présente deux plans de symétrie exacts passant par c . La kayserite est donc orthorhombique.

Le paramètre à déterminer à partir de ce diagramme est $a = 4,36 \text{ \AA}$. Par conséquent les paramètres de la kayserite sont égaux à ceux du diaspore.

Cependant, la structure de ce dernier déterminée par Deflandre (1932) présente une extinction systématique pour les taches ($0\ qr$, avec q impair). Ces mêmes taches éteintes dans le diaspore sont très faibles dans la kayserite.

Ceci prouve une très légère variation de la structure ou un désordre atomique dans la kayserite, portant sans doute sur les atomes d'aluminium.

En résumé, l'étude aux rayons X montre que les deux minéraux ont le même réseau qui est cependant moins parfait dans la kayserite.

Analyse chimique.

Al_2O_3	82 %
H_2O	14,8 % (Thermobalance)
SiO_2	1,6 %
Fe_2O_3	1,4 %

densité déterminée sur 0,050 gr. $3,39 \pm 0.01$.

Analyse thermique différentielle.

La figure n° 4 montre les courbes d'analyse thermique différentielle des deux minéraux obtenues avec la même vitesse de chauffe (10° minute) et à charge constante.

On voit un phénomène endothermique important à 490°C dû à la déshydratation. La mesure des chaleurs de transformation a donné :

diaspore (Chester-Mass. U.S.A.) rapporté au pur. 166 cal/g
kayserite (Cerro Redondo. Uruguay)..... 151 cal/g

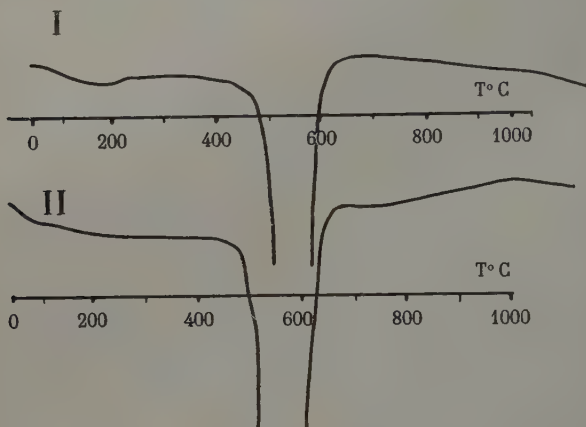


FIG. 4. ∞ Courbes d'analyse thermique différentielle du diaspore de Chester (I) et du diaspore de l'Uruguay (kayserite) (II).

Conclusion.

En comparant les résultats de ce travail, avec les données de K. Walther, on constate que plusieurs parmi celles-ci sont trop imprécises.

En particulier, le minéral de Cerro Redondo Minas, Uruguay (kayserite) n'est pas monoclinique et positif, mais orthorhombique et négatif.

D'autre part, au lieu de $n_g = 1,74$, on a obtenu $n_g = 1,75$ pour n_p au lieu de $n_p = 1,68$, nous avons eu $n_p = 1,708$. Par conséquent la biréfringence maximum 0,042 est nettement inférieure à la valeur donnée par Walther qui indique 0,060.

Étant donné que la composition chimique du minéral étudié est très voisine du diaspore, il a paru intéressant de compa

et leurs propriétés physiques et chimiques (Winchell, A. N., 1911; Tröger, E. W., 1932) [tableau I].

Il résulte de l'examen de ce tableau que les seules propriétés différentes entre les deux minéraux sont l'angle des faces et le signe optique. Les autres propriétés tant cristallographique que physiques ou chimiques étant sensiblement identiques.

On peut donc conclure par ces propriétés qu'il s'agit d'un diaspore. Cependant, le minéral de l'Uruguay est négatif avec un angle $2V$ de 60° , alors que le diaspore normal est positif avec un écartement des axes de $84^\circ 20'$.

Or, on sait (Brauns, R., 1891; Mallard, E., 1876) que l'angle des axes et le signe optique d'un minéral sont sujets à des variations sous l'influence de certains facteurs tels que la température et plus encore les actions mécaniques. La comparaison des diagrammes de Laue montre d'ailleurs que le réseau de la kayserite est moins parfait que celui du diaspore.

Or, il existe dans ce gisement des preuves directes d'une action dynamique. Les influences mécaniques ayant joué un grand rôle dans la formation de ce diaspore abondant et pouvant expliquer certaines de ces propriétés,

nous a semblé utile de situer les gisements du point de vue géologique (fig. 5). Le minéral s'est déposé dans les veines et fissures d'une corindonite. Il est accompagné par une

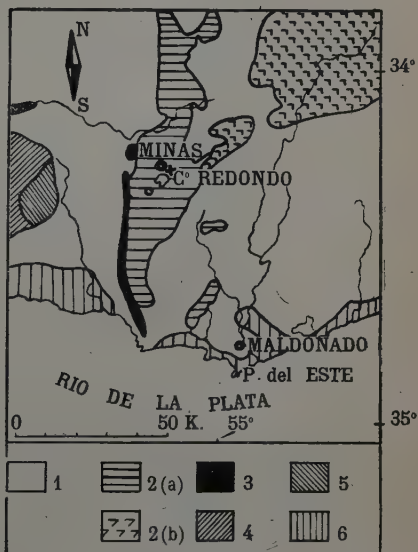
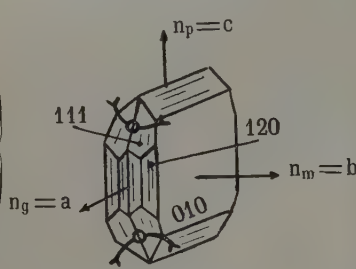
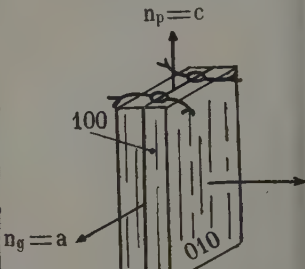
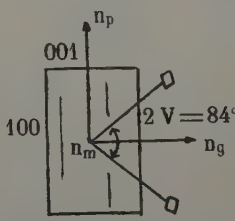
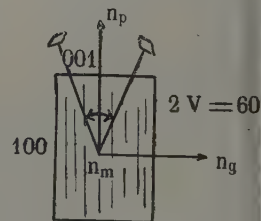


FIG. 5. — Carte géologique de la région de Minas (Uruguay). 1 = archéen; 2 = protérozoïque. 2 (a) = série de Minas, 2 (b) = série de Aigua; 3 = roches magmatiques, âge indéterminé (pré-liasique); 4 = crétacé supérieur; 5 = miocène-pliocène; 6 = pampéen et postpampéen (Carta del Instituto Geológico del Uruguay. Échelle : 1/750.000, 1946).

TABLEAU I. — Tableau synoptique des propriétés du diaspore de Chester et du diaspore de Cerro Redondo, Uruguay (kayserite),

	DIASPORE CHESTER, MASSACHUSETTS, U. S. A.	KAYSERITE C ^o REDONDO, MINAS, URUGUAY
SYSTÈME....	ORTHORHOMB.	ORTHORHOMB.
SIGNE OPT...	B (+)	B (—)
2 V.....	84°-85° (M. L. Lx.)	60°
PLAN DES AXES OPTIQUES..	(010)	(010)
Lim. Na { n_g	1,750	1,741-1,760
n_m	1,722	1,718
n_p	1,702	1,708
Birref. max...	0.048. (M. L. Lx.)	0.042.
Signe allong...	(—)	(—)
Couleur.....	Inc.; blanc, rose, jaune, etc.	Incolore, blanc rosâtre
Pleochroïsme..	Général ¹ non pleochroïc.	Non pleochroïc.
ORIENTATION OPTIQUE...		
	Clivage fac. (010) — dif. (?) (100)	Clivage fac. (010) — diffic. (100)
	TRÖGGER, Tabellen zur optischen...	
FACE (010).		
	WINCHELL, Elements optical... II, 78 :	
PARAMÈTRES { a.....	4,40 Å	4,36 Å
b.....	9,38 Å	9,38 Å
c.....	2,83 Å	2,83 Å
Al ₂ O ₃	83.0 %	82.0 %
H ₂ O.....	14.65 %	14.8 % (Thermogravimetric)
SiO ₂	—	1.6 %
Fe ₂ O ₃	3.0 %	1.4 %
DURETÉ...	6,5-7	5,5-6,5
DENSITÉ..	3.3-3.5	3.39 ± 0.01

scovite verdâtre, espèce très sensible aux actions mécaniques. Ce mica forme des paquets de lames largement cristallisées et souvent fortement courbées.

La kayserite a donc été soumise à des efforts importants fait des mouvements concomitants à la formation des lames, ou des actions mécaniques postérieures, ou peut-être l'ensemble de ces deux facteurs.

Les efforts ont pu provoquer les perturbations dans le mica (diagramme de Laue) qui expliquent les anomalies optiques.

D'accord avec K. Walther, nous pensons que le diaspore du Cerro Redondo résulte de l'altération hydrothermale du mica de l'émeri. En résumé, l'espèce kayserite, décrite par Dr Karl Walther, est un diaspore présentant certaines anomalies optiques, résultant peut-être des actions dynamiques exercées dans le gisement.

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Minéralogie du Muséum d'Histoire naturelle, pour la partie optique et au Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, pour l'étude aux rayons X et les autres caractères physiques.

Je tiens à remercier MM. les professeurs J. Orcel et J. Wyart qui ont bien voulu m'accueillir dans leurs laboratoires.

Je remercie également MM. H. Curien et F. Kraut qui ont aidé pour cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- LAUE, R. (1891). — *Die optischen Anomalien der Krystalle*, Leipzig.
- FLANDRE, M. (1932). — *Bull. Soc. franç. Minér.*, 55, 140-65.
- FRUSHKEVICH, J. D. (1941). — *C. R. (Doklady) Acad. sci. U. R. S. S.*, 31, 29-30.
- WYART, M. H. (1930). — *Chemical index of minerals*, Brit. Mus. (Nat. Hist.), Londres.
- WALTHE, E. (1876). — *Anomalies optiques*, Paris.
- FRUSHKEVICH (1926). — *Bull. geol. Min. Cercle Ekaterinoslav. Min. Inst.*, 2, 17.

- PETRUSHKEVICH (1927). — *Bull. geol. Min. Circle Ekaterinoslav. M. Inst.*, 9.
- TRÖGGER, W. E. (1932). — *Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 29.
- WALTHER, K. (1921). — *Z. dtsh. geol. Gesellsch. A*, 73 (4), 292-338.
- WINCHELL, A. N. (1951). — *Elements of optical mineralogy*, J. Wiley New-York, 4^e édition, part. 2. 78.
-

ÉTUDE DU FACIÈS DE QUELQUES CRISTAUX IONIQUES A STRUCTURE SIMPLE

PREMIÈRE PARTIE (A)

LES CHANGEMENTS DE FACIÈS EN MILIEU PUR

PAR RAYMOND KERN,

Laboratoire de Minéralogie et de Pétrographie
de l'Université de Strasbourg.

Sommaire. — On montre qu'un changement de faciès se produit non seulement en présence d'impuretés mais également en milieu pur. On étudie la cristallisation de certains sels ioniques à structure simple dans différents solvants dipolaires et on met en évidence que le faciès des cristaux précipités dépend de la sursaturation des eaux-mères. Une interprétation de ces phénomènes est donnée par l'hypothèse de la solvation des ions superficiels des cristaux par le solvant de cristallisation. Dans une deuxième partie on étudie l'influence des compagnons de cristallisation sur le faciès des cristaux.

INTRODUCTION

L'étude de la croissance des cristaux a pour but la connaissance des mécanismes élémentaires qui la produisent. Pour aborder ces mécanismes on peut essayer de voir directement les phénomènes au moyen d'appareils à pouvoir séparateur élevé : microscopes électroniques, contraste de phase, etc...

Il existe cependant des moyens indirects pour aborder ces mécanismes. Le phénomène ne sera alors pas visible mais on constatera uniquement ses effets. Un tel moyen est l'étude des changements de faciès.

Beudant (1818) l'a reconnu de très bonne heure dans ses recherches sur les causes qui déterminent les variations de formes cristallines d'une même espèce minérale. » Son tra-

vail sur les influences dites « physiques » et « chimiques » ouvert une voie que nombre de chercheurs ont suivi et suivent encore. Il m'est impossible d'indiquer une bibliographie complète sur les travaux existants. Je cite quelques ouvrages sur la croissance des cristaux qui peuvent fournir des renseignements intéressants.

P. GAUBERT. *Recherches récentes sur le faciès des cristaux*. Paris, 1911, A. Hermann.

H. TERTSCH. *Trachten der Kristalle*. Berlin, 1926. Borntraeger.

H. E. BUCKLEY. *Crystal Growth*. London, 1951. Chapman et Hall.

P. GROTH. *Chemische Kristallographie*. Leipzig, 1906. Engelmann.

Les études sur les changements de faciès sont souvent faites dans des conditions expérimentales très variées mais parfois mal définies. Je crois qu'il s'agit d'abord d'envisager les changements de faciès en milieu pur ; de voir quels sont les différents faciès possibles lorsque le cristal naît dans sa solution saturée, le solvant jouant le rôle d'impureté.

De ce point de vue, les travaux de Wells (1946 et 1949) sont les premiers en date. Le fait suivant en constitue la base : une espèce cristalline organique peut fournir des cristaux ayant des faces différentes suivant le solvant employé. Un exemple frappant est l'iodoforme de système hexagonal qui présente la forme d'un isoscéloèdre lorsqu'il cristallise en présence de solvants à fonction amine, et la forme de prisme hexagonal lorsque le solvant est un alcool, une cétone ou un dérivé halogéné. Wells a pu montrer sur quelques exemples que s'il existe des affinités entre le solvant et les ions ou les molécules contenues dans un plan réticulaire du cristal, les faces cristallines qui correspondent à ce plan se développent surtout.

Mais d'autre part Wells écrit :

The very fact that many substances crystallise with different habits from different solvents shows that we must genera-

the idea of habit modification by adsorbed impurities and tend it to include interaction with solvent... For ionic crystals, e. g. alkali halides, crystallising from water, interaction of negligible importance in determining habit, except possibly for the fluorides.

Ainsi l'interaction d'un halogénure alcalin et d'un solvant comme l'eau est d'importance secondaire d'après cet auteur. Je ne peux partager entièrement cet avis. Les expériences de croissance de sphères de chlorure de sodium en solution aqueuse, faites par Spangenberg (1924) et ses élèves, laissent entrevoir une interaction importante. Les faces (111) de NaCl présentent une vitesse de croissance anormalement faible, inférieure à celle des faces (110). Spangenberg a émis l'hypothèse d'une interaction des dipôles H_2O avec la face (111) de NaCl, interaction qui ralentit considérablement la vitesse de croissance de cette face.

A ma connaissance, il n'existe pas de travaux se servant de cette hypothèse de travail. J'ai pensé rechercher des faits nouveaux en utilisant cette hypothèse. Je me suis borné à étudier la cristallisation de sels à structure simple, solubles dans les solvants dipolaires afin de pouvoir trouver une interprétation simple des phénomènes.

Dans la première partie (A) de ce travail j'étudierai la cristallisation des sels de divers types structuraux dans différents solvants dipolaires. Je chercherai à obtenir les différents faciès; j'essayerai de trouver les conditions physiques qui déterminent leurs changements. J'indiquerai deux méthodes de mesures des concentrations de la solution autour des cristaux en voie de croissance. La première me permettra de vérifier certaines théories nouvelles basées sur un phénomène particulier (Effet Berg). La deuxième méthode me fournira les données quantitatives pour apporter une explication des changements de faciès observés.

Dans une deuxième partie (B), je traiterai de l'influence de certaines impuretés sur les changements de faciès. J'étudierai les phénomènes de croissance, de décroissance et j'indiquerai le mécanisme de changement de faciès.

CHAPITRE I A

LE FACIÈS DES CRISTAUX FONCTION DE LA VITESSE D'ÉVAPORATION DU SOLVANT

Généralités.

Dans cette partie de l'exposé j'étudierai la cristallisation des sels solubles dans différents solvants dipolaires. Le milieu de cristallisation ne contiendra comme impureté que le solvant lui-même.

On admet en général que le faciès des cristaux est toujours identique à lui-même dans des conditions de cristallisation variées si la solution est exempte d'impureté. J'entends par faciès des cristaux, les formes cristallographiques bien définies et non pas les accidents de la croissance tels que dendrites, excroissances et autres anomalies. Malgré cette opinion générale, on peut citer quelques travaux qui montrent que le faciès des cristaux dépend également d'autres facteurs.

Schubnikow (1914) au cours d'expériences sur l'alun a fait varier le faciès des cristaux en fonction de la sursaturation de la solution.

Gaubert (1911) a indiqué que la croissance rapide tend à former des cristaux ayant des faces à indices simples « faces fondamentales ».

Johnsen (1910) a rapporté une observation intéressante relative à la cristallisation de NaCl. Il a obtenu un octaèdre de NaCl au fond d'un cristallisateur contenant une solution saturée de NaCl. La forme (100) de NaCl qu'on obtient d'habitude ne serait donc pas la « forme fondamentale ». Johnsen attribue cette anomalie à une évaporation trop rapide de la solution. Mais il ajoute aussi que ces expériences sont difficiles à faire, car une précipitation massive de cristaux à faciès (100) gêne l'observation.

Je me propose donc de faire une étude de l'influence de la vitesse de cristallisation sur le faciès des cristaux.

Choix des substances.

J'ai choisi un certain nombre d'espèces cristallines de types structuraux simples : NaCl , CsCl , CaF_2 , le nitrate de soude, hexaméthylènetétramine, tous solubles dans l'eau.

Dans tous les cas le solvant est l'eau. Les sels du type CaCl_2 ont fait également l'objet d'une étude dans d'autres solvants ionisants. Les sels ainsi que les solvants ont été préalablement recristallisés et distillés.

Mode opératoire.

Les cristaux peuvent être obtenus de différentes manières :

- par évaporation du solvant,
- par diminution de la solubilité résultant de la variation de la température du système (si la solubilité du sel varie de façon appréciable avec la température),
- par diminution de la solubilité obtenue en ajoutant un second solvant dans lequel le sel est moins soluble que dans le premier.

La dernière façon d'opérer ne peut être utilisée, car le second solvant constitue une impureté supplémentaire. La cristallisation par variation de température n'est pas très indiquée, car l'on n'est pas certain que la solution ne contienne des germes au début de l'opération. On verra par la suite les inconvénients de cette méthode.

J'ai donc utilisé la première façon d'opérer : une solution préalablement désaturée en sel est évaporée sur une lame porte-objet en verre. (Des essais sur lame de platine ont été faits dans le cas des fluorures pour éviter une influence possible du verre.) L'évaporation de la solution peut être faite de deux manières :

- 1) A la température de la salle (25°C environ), soit à l'air libre, soit dans une enceinte fermée en présence de dessiccants plus ou moins énergiques.
- 2) En chauffant la lame porte-objet de façon à augmenter

la vitesse d'évaporation. Cette façon d'opérer est la plus simple du point de vue pratique, la première moins simple mais faisant intervenir moins de paramètres puisqu'elle fait à température constante.

Les formes cristallines sont observées et photographiées au microscope. La variation de la mise au point ainsi que celle de l'éclairage permet de reconnaître assez facilement les formes cristallines même de petits cristaux.

Résultats.

J'ai constaté qu'une solution contenant une espèce cristalline donnée ne présentait pas uniquement le faciès indiqué dans la littérature mais que ce faciès dépendait de la vitesse d'évaporation du solvant. Aux fortes vitesses d'évaporation des cristaux peuvent se former ayant un faciès cristallographique bien défini, différent de celui aux faibles vitesses.

I. — Sels du type NaCl.

a) *Solutions aqueuses.* Kern R. (1952 a).

— Fluorure de lithium.

LiF est faiblement soluble dans l'eau (2,7 g. par litre à 18° C) mais il l'est suffisamment pour faire des expériences de ce genre.

Aux faibles vitesses d'évaporation (de l'ordre d'une goutte de solution en 30 minutes) il se forme des cristaux à faces cubiques (100). Aux vitesses supérieures la forme de l'octaèdre (111) prédomine. Les photographies 1 et 2 de la planche I illustrent ces faits.

— Fluorure de sodium.

Les vitesses d'évaporation lentes (de l'ordre d'une goutte en 20 minutes) fournissent des cristaux (100) (photographie 3 de la planche I A); des vitesses d'évaporation plus élevées la forme (111) (photographie 4 de la planche I A). A

esses intermédiaires, des combinaisons de formes différentes apparaissent. Ces combinaisons présentent soit le cube dominant, soit l'octaèdre dominant. La photographie 5 de la planche I A montre l'association du cube (100) dominant, avec l'octaèdre (111) et le trioctaèdre (133). La photographie 6 de la planche I A illustre l'association de l'octaèdre (111) dominant, du cube (100), d'un hexatétraèdre (012), et d'un trapézoèdre (112). Lorsque la croissance a lieu très rapidement, il se forme l'octaèdre (111) présentant des croissances suivant [100].

— Chlorures, bromures, iodures NaCl , KCl , KBr , KI , NH_4I , RbCl , CsI .

Pour tous ces sels le faciès à vitesse d'évaporation faible est le cube. A des vitesses plus ou moins élevées il apparaît soit des trémies, soit des cristaux troubles présentant des inclusions de solution en forme de sablier (fig. 1 A).

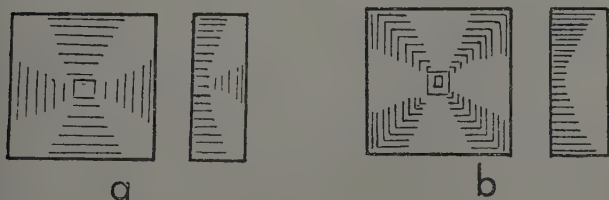


FIG. 1 A.

a) forme en sablier de NaCl ; b) forme en sablier de KCl .

Lorsque la vitesse d'évaporation est encore plus élevée, la croissance dendritique de la forme (100) se manifeste. Les croissances ont toujours lieu suivant la direction [111] (photographie 1 de la planche II A). KCl est le plus facilement sujet à la croissance dendritique, ce qui est un fait bien connu. Si la vitesse d'évaporation de la solution est encore plus élevée, il se produit un net changement de faciès. La forme de l'octaèdre apparaît alors soit avec ses faces également développées, soit aplatie normalement à un axe ternaire. Une nouvelle croissance dendritique peut apparaître lorsque

la vitesse d'évaporation est encore plus élevée et donne des octaèdres avec des excroissances suivant [100] (photographie 2 de la planche II A et fig. 2 A).

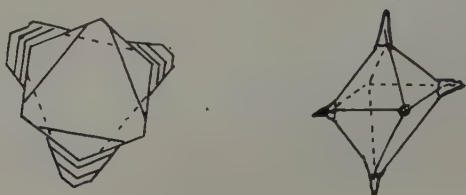


FIG. 2 A.

En résumé, les halogénures alcalins du type NaCl sont susceptibles de cristalliser sous deux faciès différents, cube (100) aux faibles vitesses d'évaporation, l'octaèdre (111) aux fortes vitesses. Le fluorure de sodium peut fournir également des formes plus compliquées. D'une façon générale on peut dire, qu'à partir d'une « vitesse critique » d'évaporation, déterminée pour chaque halogénure alcalin, il y a changement de faciès (100) \rightarrow (111). Les vitesses critiques qui font apparaître le faciès (111) vont en croissant de LiF à RbI dans la série étudiée.

Ces mêmes expériences ont été répétées sur de plus grandes quantités de liquide. Elles sont difficiles à conduire car, aux vitesses d'évaporation élevées, il y a en général précipitation en masses de petits cristaux à faciès (100). Malgré cela des cristaux à faciès (111) bien formés, de dimension moyenne de l'ordre de 2 mm, ont pu être obtenus avec NaF, NaCl, KCl.

b) Sels du type NaCl en solution non aqueuse.

Pour déterminer l'influence du solvant j'ai répété les mêmes cristallisations à partir de solutions non aqueuses. Kern R. (1952 b). Les solvants suivants ont été utilisés : alcool méthylique, alcool éthylique, acétone, acétophénone, glycol éthylnique, glycérine, dioxane. Les mêmes sels ont été utilisés dans la mesure où leur solubilité était suffisante.

J'ai constaté les faits suivants :

1) les vitesses d'évaporation lentes fournissent toujours le be; les vitesses élevées des octaèdres sauf dans le cas du yvant dioxane où je n'ai jamais constaté de changement de iès même aux vitesses d'évaporation très élevées.

2) Pour un solvant donné, les vitesses critiques d'évaporan nécessaires pour obtenir (111) vont en croissant dans la ie NaCl, KCl, KBr, KI, RbI.

Exemple : Solvant alcool méthylique.

TEMPS D'ÉVAP. DE 10 CM ³ DE SOLV.	NaCl	KCl	KBr	KI	RbI
	proportion de la forme (111)				
4,0 heure	10 %	4 %	0 %	0 %	0 %
0,5 —	35 %	20 %	12 %	0 %	0 %
0,25 —	60 %	40 %	30 %	20 %	8 %

3) Pour un sel donné : les vitesses critiques pour obtenir (111) vont en croissant dans la série CH₃OH, C₂H₅OH, I₃COCH₃, H₂O, C₆H₅-COCH₃.

Exemple : Sel KI.

TEMPS D'ÉVAP. DE 10 CM ³ DE SOLV.	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ COCH ₃	H ₂ O	C ₆ H ₅ COCH ₃	DIO- XANE
	proportion de la forme (111)					
6 heures		2 %	0 %	0 %	0 %	0 %
,5 —	20 %	50 %	0 %	0 %	0 %	0 %
,0 —	90 %	90 %	0 %	0 %	0 %	0 %
,5 —	id.	id.	30 %	ε	ε	0 %

ε : très faible pourcentage.

Ces résultats numériques n'ont évidemment aucune valeur absolue ; ils permettent néanmoins de classer les sels et les solvants.

II. — Sels du type CsCl .

Les résultats des observations sur le faciès de ces sels indiqués dans la littérature divergent fortement lorsque la solution ne contient aucune impureté. Groth (1908). Si la solution contient un compagnon de cristallisation les auteurs s'accordent à reconnaître les formes (100) et (111).

Une propriété très gênante de ces sels est la croissance dendritique qui se produit très facilement en milieu pur.

J'ai donc repris l'étude des sels NH_4Cl , NH_4Br , CsCl , CsBr , CaI et constaté les faits suivants : les vitesses d'évaporation très faibles fournissent dans tous les cas la forme du dodécaèdre rhomboïdal (110) (photographie 3 de la planche II A). L'observation est rendue difficile par une croissance dendritique qui se manifeste lorsque la vitesse d'évaporation est quelque peu trop forte. Les excroissances ont lieu suivant la direction [100]. La forme (110) est également obtenue lorsqu'on ajoute brusquement un second solvant par exemple $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Aux vitesses d'évaporation très élevées, en partant d'une solution légèrement désaturée, la croissance dendritique se manifeste plus et c'est la forme (100) qui apparaît (photographie 4 de la planche II A.) Dans certaines conditions difficilement reproductibles, la forme (111) apparaît à côté (100). R. Kern (1952 c).

III. — Sels du type CaF_2 .

Les sels du type de la fluorine sont très faiblement solubles. Leur solubilité augmente de CaF_2 à SrF_2 et BaF_2 , respectivement 17 mg., 115 mg., 1,47 g/litre d'eau. L'observation au microscope est rendue difficile de ce fait.

J'ai constaté sur BaF_2 les faits suivants : les vitesses d'évaporation faibles fournissent toujours la forme (111) (photographie 5 de la planche II A), les vitesses plus élevées

me (100) (photographie 6 de la planche II A). Quelquefois apparaît également le dodécaèdre rhomboïdal. Il y a lieu de ne pas confondre la forme (100) de BaF_2 qui est optiquement isotrope avec une variété biréfringente, orthorhombique, qui se forme à chaud ou aux très fortes sursaturations.

IV. — Nitrate de sodium.

Le nitrate de sodium dont la structure est celle de la calcite, donne par cristallisation aux faibles vitesses d'évaporation le rhomboèdre p (100) (photographie 1 de la planche III A). Aux vitesses supérieures, la forme (100) présente des trémies analogues à celles des sels du type NaCl . Lorsqu'on fait varier la vitesse d'évaporation, la base a^1 (111) apparaît et se développe de plus en plus, le rhomboèdre p persistant toujours (photographies 2 et 3 de la planche III A et dessus 3 A).

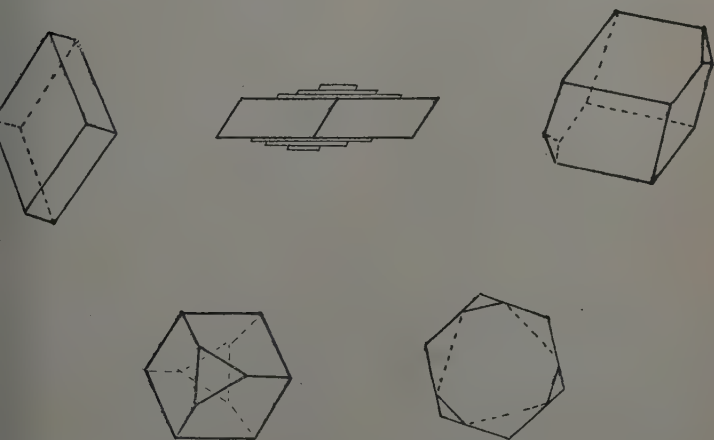


FIG. 3 A.

V. — Urotropine.

L'hexaméthylènetétramine ou urotropine, soluble dans l'eau, présente un réseau moléculaire cube centré et un faciès (100). On ne signale pas l'existence d'autres faces par crois-

sance. Stranski et Honigmann (1948) ont obtenu les formes (110), (100) et (112), mais elles résultent de croissances de dissolutions successives (Temperungsmethode).

Je n'ai jamais pu observer d'autres formes que (110) et dendrites (110) à excroissances suivant [100], bien que j'ai fait varier le plus possible les conditions de cristallisation.

On peut citer bien d'autres exemples de changement de faciès, obtenus en faisant varier la vitesse d'évaporation de la solution, mais en général ils sont trop complexes et ne permettent pas une interprétation simple. Malgré cela, je cite deux exemples plus complexes :

Nitrate de plomb.

Le nitrate de plomb, de symétrie cubique parahémiédrique, présente aux vitesses faibles la forme (111) ; les vitesses plus fortes donnent (111) en association avec (100). Il est bien connu que ces mêmes changements de faciès se produisent également lorsque la solution contient de l'acide nitrique ou du bleu de méthylène. Gaubert (1911).

Gypse.

Une solution aqueuse, saturée en gypse, donne aux vitesses d'évaporation lentes des aiguilles très fines allongées suivant [001] et présentant des troncatures sur l'arête *b*. Les vitesses d'évaporation plus élevées (toujours à 20° C environ, afin d'éviter la formation de la phase stable à température élevée) fournissent des cristaux avec g^1 (010) fortement développés, l'allongement suivant [001] étant du même ordre de grandeur que suivant [100]. Dans ces mêmes conditions il se forment également différentes macles.

Ce même changement de faciès, obtenu ici par l'effet de la vitesse d'évaporation, est observé par Lea et Nurse (1949) et par Forestier et Cremer (1952) lorsque la solution contient du citrate de sodium ou des sels à cations polyvalents. C'est

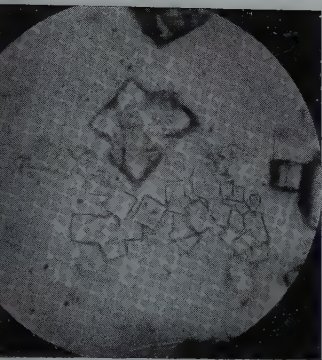


FIG. 1.

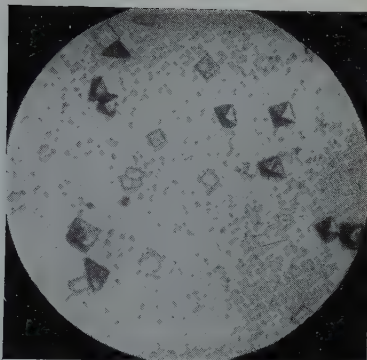


FIG. 2.

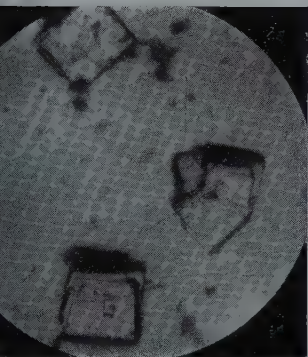


FIG. 3.

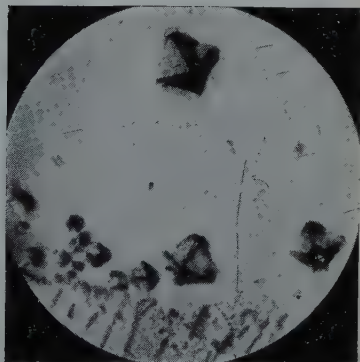


FIG. 4.

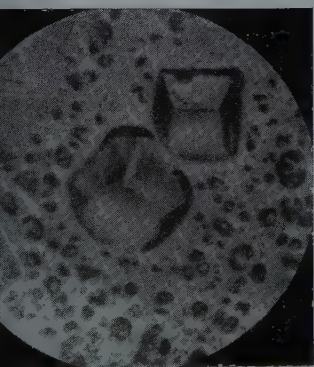


FIG. 5.

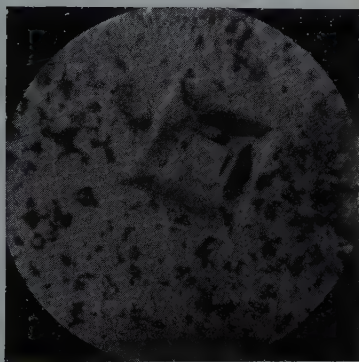


FIG. 6.

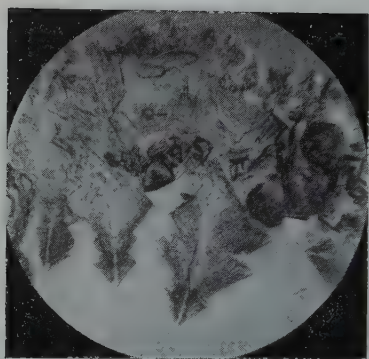


FIG. 1.

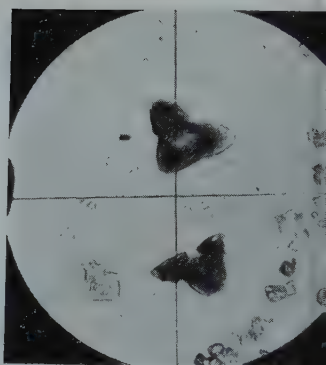


FIG. 2.

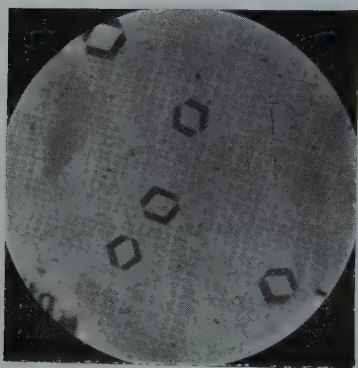


FIG. 3.

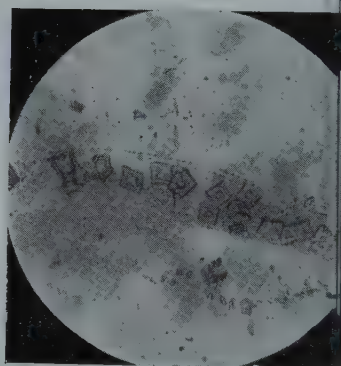


FIG. 4.

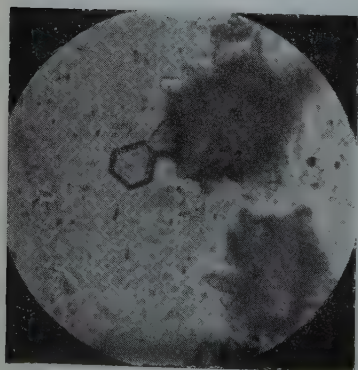


FIG. 5.

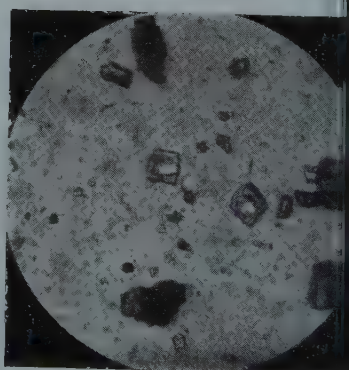


FIG. 6.

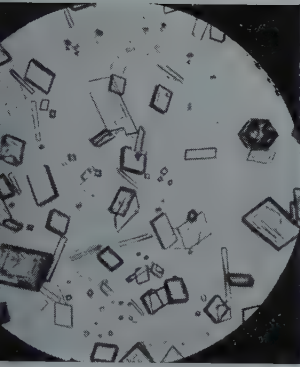


FIG. 1.

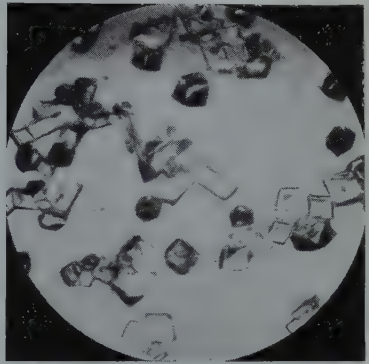


FIG. 2.

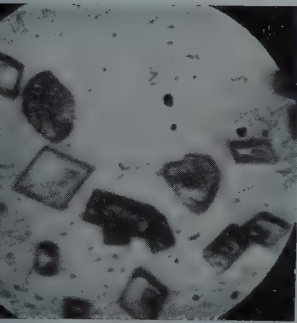


FIG. 3.

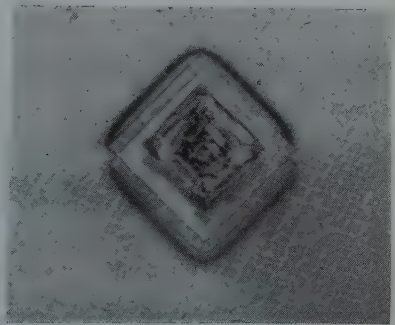


FIG. 4.

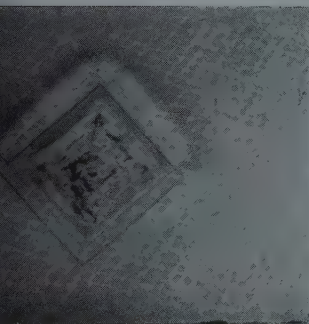


FIG. 5.

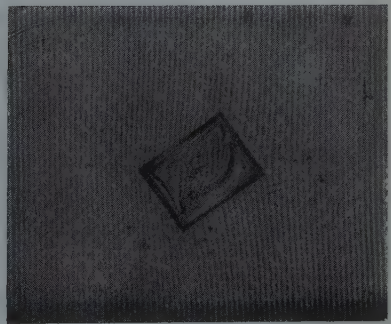


FIG. 6

autre exemple montrant que l'impureté présente dans le lieu ne joue pas le rôle principal dans le changement de faciès.

Résumé.

Les expériences sur la cristallisation de quelques corps de structure simple ont montré que le faciès des cristaux obtenus dépendait étroitement de la vitesse d'évaporation de la solution. Bien que la notion de la vitesse d'évaporation soit difficile à définir, elle m'a servi de guide dans ce travail. Cependant j'ai cherché à relier les changements de faciès observés à un facteur physique bien défini, à savoir la sursaturation. Celle-ci sera déterminée par les méthodes exposées au chapitre suivant.

Légendes des planches I A à III A.

PLANCHE I A.

1. — LiF, forme (100), évaporation lente. $\times 50$.
2. — LiF, forme (111), évaporation rapide. $\times 50$.
3. — NaF, forme (100), évaporation lente. $\times 10$.
4. — NaF, forme (111), évaporation rapide. $\times 10$.
5. — NaF, combinaison (100), (111), (133). $\times 10$.
6. — NaF, combinaison (111), (100), (012), (112). $\times 10$.

PLANCHE II A.

1. — KCl, forme (100), excroissances suivant la direction [111]. $\times 25$.
2. — KCl, forme (111), excroissances suivant la direction [100]. $\times 25$.
3. — CsI, forme (110), évaporation lente. $\times 25$.
4. — CsI, forme (100), évaporation rapide. $\times 50$.
5. — BaF₂, forme (111), évaporation lente. $\times 500$.
6. — BaF₂, forme (100) évaporation rapide. $\times 500$.

PLANCHE III A.

1. — NaNO₃, forme (100), évaporation lente. $\times 25$.
2. — NaNO₃, combinaison (100), (111). $\times 25$.
3. — NaNO₃, combinaison (111), (100); (111) étant dominant. $\times 25$.
- 4 et 5. — Photographies en noir du phénomène coloré obtenu à l'aide de la méthode Françon. Les lignes d'égale concentration sont des lignes isochromatiques. Sursaturation 6 g/100 g. de solution. $\times 10$.
6. — Franges de lames à ondes multiples obtenues avec des lames ayant un pouvoir réflecteur de 80 % et le doublet jaune du sodium. Cristal NaClO₃ dans sa solution sursaturée 6 g/100 g. de solution. $\times 10$.

CHAPITRE II A

MESURES DE LA CONCENTRATION DE LA SOLUTION PENDANT LA CROISSANCE DES CRISTAUX

Théories de la croissance des cristaux basées sur la diffusion.

D'après la théorie de la diffusion de Nernst (1904) la concentration de la solution près d'un cristal en voie de croissance est égale à la valeur de la concentration de saturation C_0 . Le passage de la matière en solution à la concentration C_2 se fait à travers une couche de diffusion d'épaisseur δ . Si D est le coefficient de diffusion, S la surface du cristal, la vitesse de croissance $\frac{dx}{dt}$ est donnée par l'équation :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{DS}{\delta} (C_2 - C_0)$$

dérivée de la loi de la diffusion de Fick.

L'existence de la couche de diffusion a déjà été mise en évidence bien avant Nernst par Lehmann (1877), en observant le halo de diffusion formé autour de cristaux de KMnO_4 .

Miers (1903), à l'aide de mesures d'indices de réfraction a montré qu'au voisinage d'un cristal en train de croître la concentration de la solution n'était pas égale à la valeur C_0 mais à une concentration C_1 , satisfaisant la relation $C_0 < C_1 < C_2$, infirmant ainsi l'hypothèse de Nernst.

Berthoud (1912) a considéré deux phénomènes de diffusion : une perte de matière due à la croissance et une arrivée de matière nouvelle par diffusion. Il en résulte le système d'équation :

$$\left\{ \begin{array}{l} dx = k_1 S (C_1 - C_0) dt \\ dx = \frac{DS}{d} (C_2 - C_1) dt \end{array} \right\}$$

Il affecte à chaque face cristalline de notation différente un coefficient k caractéristique de la face. G. Friedel ainsi qu'

leton obtiennent de cette même façon des relations entre vitesse de croissance d'une face et le coefficient de diffusion fonction de la constante k . Faute de valeurs numériques k les théories de la diffusion n'ont pu être développées.

Des auteurs récents ont essayé d'approfondir le mécanisme cette diffusion en appliquant des méthodes interférométriques pour la mesure des concentrations. Bunn (1949), Berg (1938) ont produit des franges de lames à ondes multiples dans un coin contenant une solution légèrement sursaturée en présence d'un cristal de NaClO_3 . Ils ont retrouvé les résultats indiqués par Miers (1903) mais ont pu déceler un effet particulier que j'appellerai « effet Berg ». Ayant tracé des courbes d'égale concentration de la solution, ils ont montré que la concentration présente un minimum au milieu de la face. Les phénomènes de croissance ne sont donc pas dus à une « diffusion parallèle ».

Berg déduit de ce minimum de concentration observé, qu'il existe une « consommation » de matière plus grande au milieu d'une face cristalline que vers les coins. Or, le cristal devant se développer suivant des faces planes, il doit donc exister une migration de la matière le long de la face, allant du milieu vers les coins. Il imagine un mécanisme de migration analogue à celui observé par Volmer sur des cristaux de mercure et en fait la base des « théories de l'adsorption ».

Franck (1949) rejette l'interprétation de Berg, niant la possibilité d'une migration d'ions ou molécules de NaClO_3 le long de la surface sans dépense d'énergie. Lors de la croissance en phase vapeur, sous pression réduite (expériences de Polmer), cette migration est possible à cause du libre parcours moyen considérable des atomes dans le vide.

Bunn (1949b), de son côté, donne une interprétation différente de l'effet Berg. Cet auteur a constaté que pour la plupart des cristaux la croissance commence au milieu des faces. Elle se poursuit par couches successives formant en leur milieu des facettes à indices cristallographiques élevés (faces secondaires). Ces facettes possèdent à leur surface des champs électrostatiques plus élevés que la face principale, d'où une attrac-

tion plus forte des ions en solution et l'existence du minimum de concentration.

Amelinckx (1950) met en équation les phénomènes de diffusion et arrive à retrouver les résultats expérimentaux de Berg et Bunn.

Les auteurs précédents ont été conduits à mesurer les concentrations et sursaturations des solutions par des méthodes optiques qui ont l'avantage de ne point affecter le milieu de cristallisation. Bien que d'autres procédés de mesure de sursaturation puissent être imaginés (mesure de la conductibilité électrique, Amsler (1942), mesures de potentiel électrique des piles de concentration que j'ai essayées mais dont les résultats n'ont pas été satisfaisants) j'ai également utilisé des méthodes optiques.

A. Une méthode interférométrique plus sensible que celle de Berg et Bunn m'a permis de mesurer la concentration de la solution ainsi que de tracer des courbes d'égale concentration au voisinage des cristaux en voie de croissance.

B. Un réfractomètre Abbe-Pulfrich m'a servi à déterminer la concentration de la solution dans laquelle les cristaux prennent naissance et la sursaturation à laquelle se produisent les changements de faciès.

A. VARIATIONS DE LA CONCENTRATION DE LA SOLUTION AUTOUR D'UN CRISTAL EN VOIE DE CROISSANCE

Je me suis servi de la méthode interférentielle par double réfraction en lumière blanche dont l'auteur est M. Francoeur (1952).

Principe général.

Un système optique convenable produit d'un objet deux images cohérentes décalées en largeur et en profondeur. Les différentes parties des images interfèrent avec un fond plan cohérent. Si le système est éclairé en lumière blanche les différences de marche de l'objet se traduisent par des teintes différentes de celles du fond.

a) **Principe de la méthode d'étude.**

Après M. Françon le principe de la méthode est le suivant : « Lorsqu'une onde plane monochromatique polarisée parallèlement tombe à 45° des axes d'un polariscope de Savart ⁽¹⁾, on obtient deux ondes polarisées à angle droit et contenues dans un même plan, si le faisceau lumineux est normal aux lames biréfringentes. A la sortie du polariscope de Savart on obtient deux ondes en phase, seulement décalées l'une par rapport à l'autre dans leur plan commun par suite de la biréfringence des lames. En inclinant celles-ci ou en employant un compensateur, on peut introduire une différence de phase convenable pour que ces deux ondes se détruisent par interférence. Supposons qu'il en soit ainsi pour le jaune moyen du spectre et éclairons l'ensemble en lumière blanche. En plaçant un analyseur entre les lames et le dispositif optique on permet de les observer, on obtient une teinte générale uniforme, ou teinte sensible. Considérons maintenant, non plus une onde plane mais une onde déformée. Par suite de leur décalage latéral ces deux ondes n'arrivent plus en opposition de phase pour le jaune dans tout le champ d'observation. La teinte sensible varie rapidement dans certaines régions décelant ainsi les déformations de l'onde incidente. »

La figure 4 A montre la marche de la lumière. Soit xx' le plan incident blanc, \mathcal{P} un polariseur, AB l'objet masquant. A la sortie de l'objet, l'onde plane est déformée ; Σ cette onde. Après passage du polariscope de Savart, l'onde Σ est dédoublée en 2 ondes Σ_1 et Σ_2 . La lentille forme l'image A'B' de AB dans le plan d'observation. Un analyseur \mathcal{A} produit les interférences des ondes polarisées à angle droit Σ_1 et Σ_2 .

La figure 5 A montre les deux ondes déformées Σ_1 et Σ_2 .

Un polariscope de Savart est constitué par deux lames à faces parallèles de même épaisseur, taillées à 45° de l'axe optique d'un cristal de quartz ou de calcite. Ces deux lames sont superposées de façon que leurs axes optiques soient orthogonaux.

décalées en largeur et en profondeur. Dans les parties A et C, Σ_1 et Σ_2 sont en opposition de phase pour le jaune moyen du spectre, elles constituent le fond teinte sensible. Entre B et C les ondes Σ_1 et Σ_2 ne sont plus en opposition

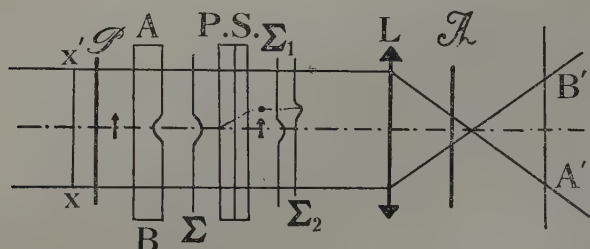


FIG. 4 A

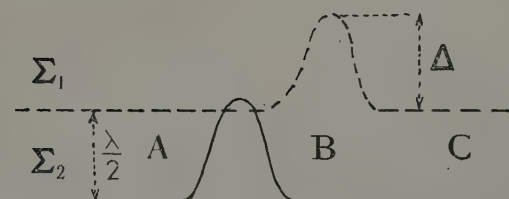


FIG. 5 A.

phase pour le jaune, la teinte a viré. En se rapportant à l'échelle des teintes de Newton, il est possible d'évaluer la différence de marche en un point donné de l'objet. Si Δ est cette différence de marche et $\lambda/2$ la différence de marche entre parties non déformées des ondes Σ_1 et Σ_2 , les images M_1 et M_2 présenteront les teintes correspondant à des différences de marche $\Delta + \lambda/2$ et $\Delta - \lambda/2$. Les teintes des deux images seront « symétriques » par rapport à la teinte sensible.

Dans le cas où le dédoublement des images est tel que la déformation de l'onde Σ_1 soit au-dessus de la partie non déformée de l'onde Σ_2 et réciproquement, les différences d'ordres, qui représentent les différences de marche, donnent les variations d'indice par rapport au milieu non perturbé.

Si le dédoublement est petit par rapport à la dimension

perturbation, la variation de teinte correspond à la pente de surface d'onde. En effet, dans ce cas nous pouvons passer d'un point P de l'onde Σ_1 au point P' correspondant de l'onde Σ_2 en lui faisant subir une translation égale à $\lambda/2$ (figure 6 A) qui l'amène en N, puis une translation horizontale égale au dédoublement d petit qui l'amène en P'. En confondant les courbes Σ_1 et Σ_2 avec leurs tangentes nous pouvons représenter les surfaces d'ondes par deux droites parallèles de pente m passant par P et P'. La différence de marche entre le point P et le point Q est égale à $\lambda/2 + md$; étant une constante de l'appareil, la pente m est proportionnelle à la différence de marche.

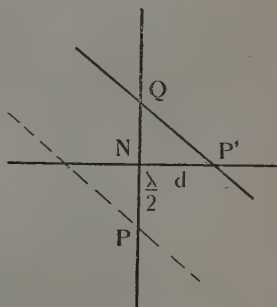


FIG 6 A.

Montage expérimental.

Différents montages de la méthode interférentielle de Françon sont possibles. Comme il est nécessaire d'avoir

un dédoublement important des images, pour être dans les conditions de la plus grande sensibilité, on a avantage à placer le polariscope entre l'objectif du microscope et la préparation. En effet, si le polariscope était placé dans l'oculaire le dédoublement serait g fois plus petit, g étant le grandissement de l'objectif du microscope. Pour avoir le même dédoublement il faudrait un polariscope g fois plus épais donnant des franges à l'infini très fines. La difficulté des réglages devient beaucoup plus grande. J'ai donc choisi le montage suivant :

Une fente réglable F est placée dans le plan focal d'une lentille achromatique de 10 cm. de distance focale. Une lampe de microscope S éclaire cette fente. La lumière parallèle tombe sur l'intermédiaire d'un miroir plan M sur le polariseur d'un microscope. Le microscope est muni d'un objectif L de grandissement 3. Entre l'objectif L et la préparation à examiner se trouve le polariscope de Savart en quartz de 2 cm.

d'épaisseur. Un analyseur \mathcal{A} se trouve entre l'objectif L et un oculaire O (voir figure 7 A).

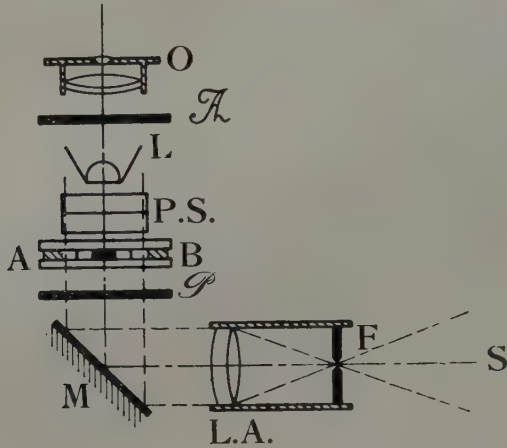


FIG. 7 A.

Le dédoublement des images se calcule connaissant l'épaisseur $2e$ des lames : l'angle maximum ω du rayon extraordinaire avec la normale à l'onde extraordinaire est donné par la relation :

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{N_e^2 - N_o^2}{N_e^2 + N_o^2} \text{ d'où le dédoublement } d = \omega e.$$

Connaissant $N_e = 1,5533$, $N_o = 1,5442$, la relation donne $d = 5.10^{-3}e$. Puisque deux lames sont superposées, croisées, le dédoublement sera $d' = d\sqrt{2} = 7.10^{-3}e$. L'épaisseur d'une des lames du polariscope étant de 10 mm., le dédoublement résultant sera de 0,07 mm.

L'expérience ainsi que le calcul montrent qu'avec l'objectif utilisé (ouverture numérique 0,10) les aberrations sont négligeables.

Réglage de l'appareil.

Le collimateur étant réglé, on oriente le polariseur \mathcal{P} façon que la fente du collimateur soit perpendiculaire parallèle à la direction principale du polariseur. On fait

ème pour l'analyseur \mathcal{A} . On place le polariscope P. S. entre l'objectif et la préparation dans une orientation quelconque. On remplace l'oculaire O par une lunette réglée à l'infini : les franges à l'infini du polariscope sont visibles. Ce sont des lignes isochromatiques approximativement parallèles. La fente est ensuite orientée de façon à leur être parallèle.

La largeur est réglée de façon à paraître uniformément éclairée. En remplaçant la lunette par l'oculaire, le champ d'observation doit présenter une teinte uniforme en l'absence de préparation. On obtient la teinte sensible du premier ordre en inclinant le polariscope autour d'un axe horizontal.

Le réglage est bien plus facile à faire que dans le cas des méthodes interférentielles ordinaires.

Sensibilité du dispositif réalisé.

L'interféromètre étant réglé de façon à obtenir la teinte sensible du premier ordre, entre nicols parallèles, la sensibilité de la méthode est celle de toutes les méthodes à teinte

sensible, soit $\frac{\lambda}{1.000}$. Cette sensibilité est évidemment la

teinte du dispositif et il faut pour la réaliser un montage particulier. Exemple : un objet présentant une différence de marche

$\frac{\lambda}{50}$ fait virer la teinte sensible (entre nicols croisés), au bleu et au rouge ; ces teintes sont « symétriques » par rapport à la teinte sensible.

) Application à l'étude de la croissance des cristaux à partir de solutions.

Mode opératoire.

J'ai indiqué dans le premier chapitre trois procédés pour obtenir des cristaux à partir de la solution. Seule la méthode de la diminution de la solubilité par abaissement de tempé-

rature est utilisable ici, car elle permet de recouvrir la surface du liquide d'une lame de verre de façon à maintenir son épaisseur constante.

La solution et le cristal à étudier sont placés entre deux lames porte-objet dont le parallélisme est assuré à l'aide de cales d'épaisseur connue. La solution a été préalablement saturée à une température T_1 supérieure à la température ambiante T_0 . Quelques gouttes de cette solution sont prélevées rapidement et posées entre les deux lames porte-objet qui se trouvent à la température T_0 . Cet abaissement de température de la solution, s'il est suffisamment élevé, produit la croissance de nombreux cristaux. Si l'on veut observer les phénomènes relatifs à un seul cristal on choisit un abaissement de température moins fort et l'on place au sein de cette solution un cristal préparé préalablement. Les phénomènes sont photographiés sur films noir et en couleur (Kodachrome) sous lumière du jour.

Dépouillement des clichés.

Les clichés sont dépouillés de la façon suivante : Si l'on appelle N_∞ l'indice de réfraction de la solution loin du cristal en croissance et $N_{x,y}$ l'indice de la solution en un point (x, y) près du cristal, la différence de marche Δ au point (x, y) est $\Delta = (N_\infty - N_{x,y})e$, e étant l'épaisseur de la couche de solution entre les deux lames porte-objet. La courbe concentrée en sel-indice de réfraction, à la température T_0 des lames, permet de connaître par extrapolation la concentration initiale C_∞ . La connaissance de Δ conduit à la valeur de $C_{x,y}$ d'après $N_{x,y}$. Si l'appareil est réglé de façon que le champ d'observation présente la teinte sensible du premier ordre, entre deux croisements, cette teinte correspond à une différence de marche $\Delta_0 = 0,565 \mu$. $\Delta_{1,2}$ étant la différence de marche de la teinte observée au point (x, y) , on a la relation $\Delta_{1,2} = \Delta \pm \Delta_0$ (figure 5 B). La concentration $C_{x,y}$ étant connue, il ne reste qu'à suivre la ligne de même teinte pour tracer la courbe d'égale concentration $C = C_{x,y}$.

c) **Étude de quelques halogénures alcalins.**

J'ai étudié quelques halogénures alcalins dont la solubilité variait fortement avec la température : KCl, KBr, KI. L'ensemble des expériences me permet de faire les remarques suivantes :

1) Autour des cristaux en voie de croissance il existe une zone de solution perturbée, de concentration plus faible qu'en un point plus éloigné du cristal. La dimension de cette zone de perturbation est fonction de l'épaisseur de la couche de solution. Dans le cas d'une couche de liquide très mince, on observe une perturbation à une distance du cristal environ le double de la dimension du cristal (diffusion très lente). Par contre, la croissance d'un cristal dans une couche épaisse de solution produit un halo de diffusion très petit (diffusion très rapide). Les gradients de concentration sont plus élevés dans le second cas que dans le premier.

2) La concentration de la solution près du cristal est toujours supérieure à la concentration de saturation.

3) Il n'est pas possible de tracer une courbe vitesse de croissance d'une face cristalline en fonction de la concentration mesurée près de cette face. La croissance d'une face peut arrêter subitement sans qu'il y ait une raison apparente (diminution de la concentration). Bunn (1949 a) a également fait cette remarque. De même il n'est pas possible de déceler des courants de convection ou même des variations locales de concentration quand des cristaux s'allongent subitement vers de leur croissance. Sans doute d'autres phénomènes que la concentration doivent intervenir ici.

4) L'aspect des lignes d'égale concentration est le suivant :

I) A une distance du même ordre de grandeur que le cristal lui-même, les courbes d'égale concentration sont des cercles concentriques lorsque les quatre côtés d'un cristal à base carrée croissent avec la même vitesse.

II) Plus près du cristal, les courbes d'égale concentration tendent à prendre la forme extérieure du cristal. Le long d'une face du cristal la teinte reste constante. Aucune teinte diffé-

rente n'apparaît au milieu de la face. La concentration le long de la face est donc constante. Les courbes isochromatiques ne sont qu'approximativement des courbes d'égale concentration, aussi pour être certain que ces dernières sont bien des droites parallèles aux faces du cristal, il suffit d'examiner celui qui se passe autour d'un cristal dont les images ont été dédoublées dans une direction normale à l'une des faces du cube, par conséquent parallèle à une autre face du cube. Si les courbes d'égale concentration sont des droites parallèles aux faces du cube, on doit constater dans la direction du dédoublement, c'est-à-dire près de la face qui lui est normale, une variation des teintes, tandis que le long des faces parallèles à la direction de ce dédoublement, la teinte doit rester plate. Si les courbes d'égale concentration étaient courbes, on devrait constater une variation de coloration de tous les côtés du cristal.

III) Les gradients de concentration sont plus élevés aux sommets du cristal du fait de la diffusion qui a lieu le plus facilement en ces endroits.

5) Lorsque le cristal croît plus rapidement, on distingue des teintes différentes près des sommets. Elles correspondent à des concentrations plus faibles. L'apport de matière par diffusion y a lieu plus rapidement et des excroissances n'y tardent pas à apparaître.

6) Lorsque par effet de sursaturation il apparaît un changement de faciès, on observe autour des formes nouvelles des diagrammes de concentration analogues. La méthode ne permet cependant pas de déterminer d'une façon simple la concentration de la solution en valeur absolue correspondant à ce changement de faciès.

7) La dissolution d'un cristal fournit des diagrammes absolument symétriques à ceux que l'on obtient par croissance.

Remarques.

Les diagrammes de concentration s'interprètent en admettant : a) que la solution s'appauvrit en sel du fait de la croissance du cristal (diffusion du sel parallèle aux faces cristallines).

es) et *b*) par la diffusion du soluté. Cette diffusion est plus importante au voisinage des sommets.

La croissance dendritique peut être rapprochée de l'existence des gradients de concentration importants au voisinage des sommets. En effet, la formule de Nernst $dn = -D.S.$

$\frac{1}{S} \frac{dn}{dt}$ indique que la vitesse de croissance $\frac{l}{S} \frac{dn}{dt}$ est propor-

tionnelle au gradient de concentration $\frac{dC}{dx}$. L'expérience

montre effectivement que les excroissances se produisent toujours aux sommets (voir chapitre I A). Cependant, la diffusion ne doit pas être la seule raison de la croissance dendritique. Les directions cristallographiques jouent un rôle important de même que le type du réseau cristallin (comparer les sels des types CsCl et NaCl).

Contrairement aux observations de Berg (1933) et de Bunn (1949a) on ne remarque aucun phénomène particulier le long des faces cristallines. Afin de préciser cette question, j'ai repris l'étude de NaClO_3 déjà faite par les auteurs précédents.

d) Étude du chlorate de sodium.

Berg et Bunn ont fait l'étude des courbes d'égale concentration de la solution autour d'un cristal de NaClO_3 en voie de croissance. Ce sel a été choisi car il est cubique (les observations sont facilitées) et les solutions sursaturées de NaClO_3 sont très stables (les manipulations sont facilitées). Aucune autre raison n'a guidé ce choix.

Méthode Françon.

J'ai d'abord appliqué la méthode de Françon en opérant dans les conditions tout à fait analogues à celles employées par Berg et Bunn. Ces résultats ont été décrits d'une façon détaillée. Goldsztaub, Kern (1953). Il en résulte que jamais la concentration n'est minimum au milieu d'une face (photographie nos 4 et 5 de la planche III A.) Cette méthode très sen-

sible n'a donc pu déceler l'effet Berg. Ayant acquis cette certitude, j'ai recherché la raison du désaccord avec les résultats de Berg et Bunn. J'ai donc repris cette étude en appliquant leur méthode.

Méthodes des franges à ondes multiples.

Précision de la méthode.

La finesse des franges à ondes multiples limite la précision des mesures. En général on admet que cette étude fournit une précision de $\frac{\lambda}{50}$. Mais la finesse des franges dépend des facteurs suivants :

- I) Pouvoir réflecteur des lames,
- II) Monochromatisme de la source,
- III) Ordre d'interférence des frange.

En admettant une onde infiniment monochromatique, la répétition de la lumière transmise I_t en fonction de la phase φ donnée par la relation

$$I_t = \frac{\theta^2}{(1 - \rho)^2 + 4 \rho \sin^2 \varphi/2}$$

ρ étant le pouvoir réflecteur et θ le pouvoir de transmission.

En supposant $\rho + \theta = 1$

la relation devient

$$I_t = \frac{1}{1 + a^2 \sin^2 \varphi/2}$$

avec $a^2 = \frac{4 \rho}{(1 - \rho)^2}$. Dans le cas des lames utilisées $\rho = 0,8$, $a^2 = 80$. On en déduit la demi-largeur angulaire des franges $\varphi/2 = 0,11$ rad. L'interfrange étant de $\varphi/2 = 1$ rad., cette finesse des franges correspond à environ 1/9 d'interfrange. Ces résultats concernent le cas idéal d'une onde infiniment monochromatique. En réalité, les sources sont loin de posséder cette propriété.

Soit $\Delta\lambda$ la demi-largeur spectrale d'une source monochromatique réelle de longueur d'onde λ . La finesse des franges est plus indépendante de l'ordre d'interférence. Elle diminue lorsque l'ordre d'interférence croît. Dans le cas présent l'ordre d'interférence est déterminé par la distance qui sépare les lames semi-argentées, c'est-à-dire par l'épaisseur du cristal à étudier. Soit $e = 0,01$ cm. cette distance. L'ordre d'interférence qui correspond à cette valeur est d'environ $K = 600$. Pour obtenir des franges dont la demi-largeur est inférieure ou égale à la finesse théorique ($1/9$ d'interfrange), il faudrait disposer d'une source définie par

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{9K} = \frac{\lambda}{5,4} \times 10^{-3}.$$

cette condition n'est vérifiée que pour des lampes spéciales, un usage peu courant et peu lumineuses: Berg, Bunn et moi-même n'avons pas utilisé de telles sources. Aussi y a-t-il lieu d'examiner les conséquences qui en résultent.

Les clichés de Berg présentent des franges dont la finesse est de l'ordre de $1/4$ d'interfrange. Les franges obtenues par Bunn sont moins fines, elles présentent des zones brillantes aussi larges que les espaces sombres. Moi-même je n'ai pas obtenu de meilleurs résultats avec la raie verte du mercure obtenue par une lampe Philips à basse pression. Par contre, le doublet du sodium m'a permis d'obtenir des franges plus fines, analogues à celles de Berg. Il faut se placer dans ce cas dans une zone de coïncidence des franges des deux composantes du doublet ($K = 980$). (Voir photographie 6 de la planche III A). Les pointés de franges ne doivent donc être faits qu'à $1/4$ ou à $1/2$ interfrange près suivant le cas. Berg et Bunn, par contre, ont admis une précision bien supérieure et c'est de ce fait qu'ils ont trouvé l'effet Berg. Cet effet est de l'ordre de grandeur de l'imprécision de la méthode utilisée. On ne le trouve plus si on interprète correctement les clichés ou si on utilise une méthode plus sensible.

B. MESURES DES CONCENTRATIONS DE LA SOLUTION LORS DES CHANGEMENTS DE FACIÈS

Après avoir montré dans le premier chapitre que le faciès des cristaux ioniques en milieu dipolaire était lié à la vitesse d'évaporation du solvant, je me propose dans ce qui suit, déterminer les concentrations de la solution lors de la cristallisation et en particulier celles correspondant au changement de faciès.

Méthode d'étude.

Les solutions à évaporer sont disposées sur la surface d'un réfractomètre à demi-boule d'Abbe-Pulfrich. Le réfractomètre est surmonté d'un microscope qui permet l'observation des cristaux. Pendant l'évaporation qui se fait à température constante, on suit la variation de l'indice de réfraction avec le temps et on fait la lecture quand apparaissent les premiers cristaux ayant le faciès voulu. J'ai préalablement tracé des courbes donnant l'indice de réfraction en fonction de la concentration à la température ambiante. Ces courbes sont pratiquement des droites.

Les changements de faciès ont lieu toujours à l'intérieur du domaine d'erreur de mesures des concentrations. C'est donc la précision de la mesure de l'indice qui limite la précision du phénomène. La mesure d'indice N se ramène à une mesure d'angle U ($N = 1,8904 \sin U$). L'erreur sur l'angle U est une minute environ. D'où l'erreur sur l'indice $\Delta n = 0,6 \cdot 10^{-3}$. La variation d'indice est reliée à la variation de concentration par la relation : $\Delta n = 10^{-1} c$.

Si je suppose qu'il existe une erreur expérimentale du même ordre de grandeur sur la fonction $N = f(c)$, l'erreur sur la concentration est $\Delta c = 1,2 \cdot 10^{-2}$ (les erreurs absolues sur les pesées sont négligeables).

Une autre source d'erreur peut être due à la variation de température de la solution au cours de l'évaporation. L'expérience a montré que cette erreur est négligeable aux vitesses d'évaporation utilisées dans le cas des solutions aqueuses ; e.

l'est pas si on utilise l'alcool méthylique comme solvant. Les mesures de la concentration lors du changement de faciès sont faites au moment où apparaissent les premiers cristaux. De ce fait il n'y a pas de correction à faire concernant les halos de diffusion qui entourent les cristaux.

Résultats.

a). Solutions aqueuses.

Les sels suivants ont été étudiés : NaF, NaCl, KCl, KBr, NH₄I. Les résultats obtenus sont les suivants : KERN (1953).

1) Aux concentrations voisines de la saturation apparaissent les faciès (100). Les formes dendritiques de (100) apparaissent lorsque la solution se sursature de plus en plus. Il n'est pas possible d'indiquer la sursaturation à laquelle commence la naissance de ces formes, ni celle de leurs excroissances.

2) Pour une valeur plus élevée de la sursaturation, bien déterminée pour chaque sel, la forme (111) prend naissance. Aux sursaturations encore plus élevées la forme (111) se développe en dendrites.

Dans le tableau suivant j'indique, pour une température de 20°C, les valeurs de la concentration C de la solution aqueuse, pour lesquelles se produit le changement de faciès (100) → (111). Les concentrations sont exprimées en grammes de sel pour 100 g. d'eau. S est la concentration de saturation. $C - S = \Delta$ la sursaturation exprimée avec la même unité.

SELS	NaF	NaCl	KCl	KBr	KI	NH ₄ I
S	4,25	35,8	34,5	67,5	144,2	171,2
C	5,60	44,0	43,2	88,0	157,7	177,3
$C - S$	1,35	8,20	8,70	10,5	13,5	6,1
	± 0,10	± 0,08	± 0,08	± 0,10	± 0,13	± 0,06

Ces résultats sont figurés sur le graphique 8 A où se trouvent portés en abscisses les solubilités en moles de sel par 100 moles d'eau et en ordonnées le degré de sursaturation Δ/S .

III) Les sels peu solubles se sursaturent plus facilement que les sels fortement solubles.

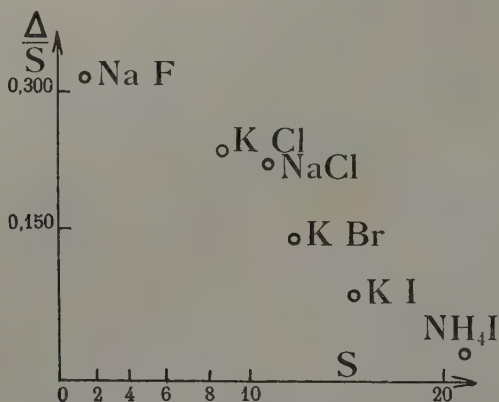


FIG. 8 A.

b) *Solvant alcool méthylique :*

Les changements de faciès se produisent à un degré de sursaturation plus élevé qu'avec les sels correspondants dans l'eau.

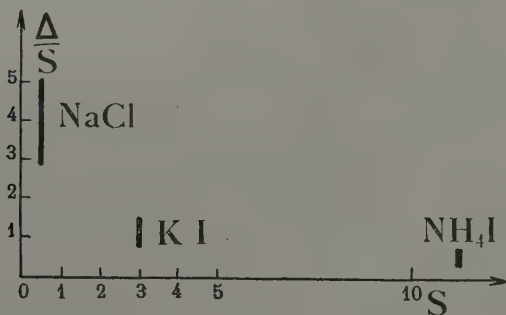


FIG. 9 A.

précision des mesures est très mauvaise du fait que la température de la solution varie au cours de l'évaporation. Le graphique 9 A résume les résultats ainsi que leurs imprécisions.

Conclusions.

1) En comparant le phénomène de changement de faciès à celui de la formation des germes, on constate que ce premier est bien plus simple que le second. Amsler (1942) avait montré que la formation des germes dépendait non seulement de l'état initial et final, mais aussi du chemin suivi par le système.

Pour le phénomène de changement de faciès par contre, on peut définir pour chaque couple sel-solvant un degré de sursaturation correspondant au changement de faciès.

Ces changements de faciès se manifestent à un degré de sursaturation d'autant plus élevé que la solubilité est plus faible.

2) Dans le premier chapitre j'ai montré, que le changement de faciès d'un sel peu soluble se faisait d'une façon plus aisée que celui d'un sel fortement soluble (voir vitesses critiques d'évaporation des sels du type NaCl). Ceci semble en contradiction avec la conclusion 1, car on admet que le degré de sursaturation est une fonction croissante de la vitesse d'évaporation.

Cette contradiction n'est qu'apparente. En effet : les sels très solubles se sursaturent très facilement, les sels à solubilité élevée difficilement. Amsler (1942) avait déjà mis cela en évidence par des mesures de sursaturation sur KCl, KBr et KI.

CHAPITRE III A

INTERPRÉTATION DES PHÉNOMÈNES DE CHANGEMENT DE FACIÈS PAR SURSATURATION EN MILIEU PUR

Théories de la croissance basées sur la structure discontinue de la matière.

Avant de chercher à interpréter les changements de faciès par sursaturation, je passerai rapidement en revue les principales théories de la croissance qui se basent sur la structure discontinue de la matière cristalline.

La première loi a été énoncée par Bravais : les faces à densité réticulaire la plus élevée sont les plus fréquentes (face à développement maximum). De nombreuses exceptions existent cependant car le réseau de Bravais, établi à partir de la morphologie externe des cristaux, ne tenait pas compte du mode de cristallin.

Niggli (1920) modifie la loi de Bravais en introduisant la notion des couches non saturées de la surface cristalline. Cet artifice explique alors certaines anomalies de la loi de Bravais et complète celle-ci. C'est ainsi que NaCl devrait présenter indifféremment les formes (100), (110) et (111).

Valeton remarque que d'après la loi de Bravais, NaCl devrait présenter la forme (111). Or, en réalité, c'est (100) qui est la forme observée. D'après Valeton ce n'est donc pas la densité réticulaire qui importe mais le champ électrostatique suivant les différentes directions cristallographiques. Le champ qui lui-même est une fonction à la fois de la densité réticulaire et du motif. Il constate que ce sont les faces à champ électrostatique le plus faible qui se développent le plus.

Une loi énoncée par Weil (1931) confirme cette notion de Valeton : la cristallisation en milieu pur fournit la forme de clivage. En effet, les plans de clivage correspondant aux directions de moindre cohésion sont également des directions à champ le plus faible.

C'est Valetton qui a donné l'impulsion aux théories récentes de la formation des cristaux en analysant les phénomènes cinétiques de croissance sur une face cristalline. A l'aide de la théorie de Stranski (1949) il est possible de calculer par exemple « les formes d'équilibre » de différents types structuraux en faisant certaines hypothèses simplificatrices. Les résultats sont en accord avec l'expérience : NaCl (100); CsCl (100); CaF_2 (111); CaCO_3 , NaNO_3 (100). Cette théorie ne fait intervenir le milieu extérieur (solvant). Dès que le milieu de cristallisation est susceptible de réagir sur le cristal ces hypothèses peuvent ne plus être valables. Pour traiter le problème de la croissance à partir de la solution il est nécessaire de faire intervenir les énergies de solvation dans le calcul des énergies de « sédimentation ». Le problème devient alors très complexe et on ne peut trouver une solution même approchée. Seule l'expérience peut fournir jusqu'à présent des enseignements utiles.

Les travaux de Wells (1946-49) résumés dans l'introduction mettent en évidence une interaction cristal-solvant. Les cristaux étudiés par Wells ont une structure assez complexe, mais j'ai étudié des corps plus simples qui sont susceptibles de conduire à des interprétations simples.

Constatations.

On a vu que :

a) Un sel ionique, simple, en solution dans un solvant dipolaire, peut d'une manière générale cristalliser avec deux faciès différents. Le changement de faciès se produit lorsque la solution a atteint un degré de sursaturation déterminé.

b) Si le solvant n'est pas dipolaire, aucun changement de faciès ne se produit (cas de certains iodures type NaCl en présence de dioxane).

c) Si le cristal ne présente pas de caractère ionique, ni d'affinités particulières pour le solvant, il n'existe qu'un seul faciès fondamental (cas de l'urotropine en solution dans un solvant dipolaire).

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus avec sels présentant des structures différentes.

TYPE	NaCl	CsCl	CaF ₂	NaNO ₃
Faciès de faible sursaturation.....	(100)	(110)	(111)	(100)
Faciès de forte sursaturation.....	(111)	(100)	(100)	(111)

Les faciès d'équilibre sont les formes qui correspondent au clivage. Les champs électrostatiques qui sont normaux au plan de clivage sont faibles ; ils contiennent des ions de signes différents. Les figures 10 A indiquent les motifs des faces de clivage à champ faible dans le cas des différents types structuraux étudiés :

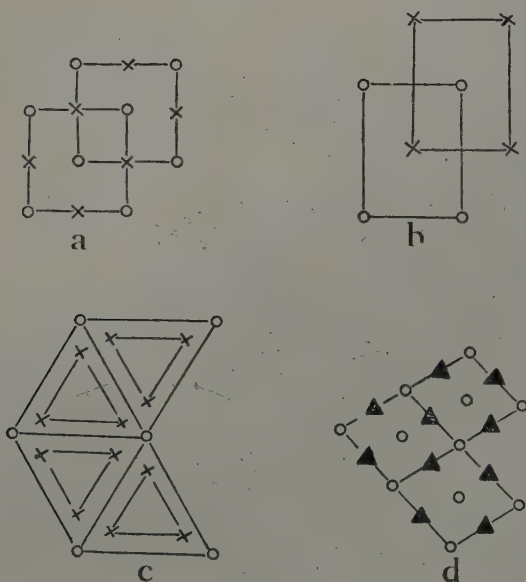


FIG. 10 A.

a. NaCl (100) ; b. CsCl (110) ; c. CaF₂ (111) ; d. NaNO₃ (108)

Les faces qui apparaissent aux fortes sursaturations correspondent à des plans réticulaires contenant une seule espèce d'ions. Ce sont des plans à champ électrostatique le plus élevé. Les figures 11 A montrent les motifs correspondants.

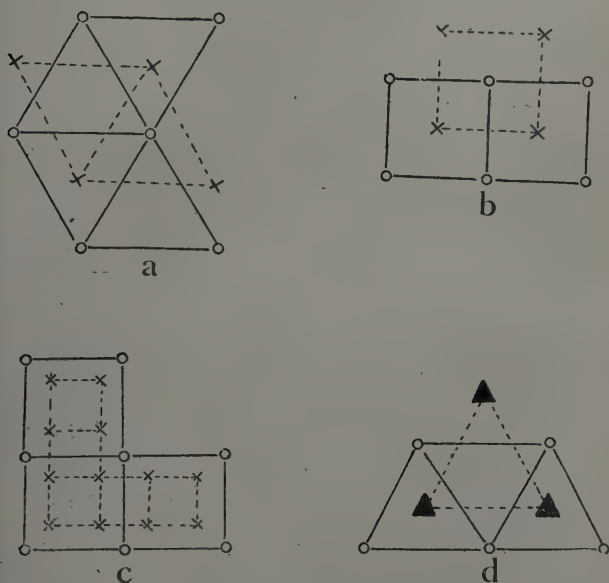


FIG. 11 A.

a. NaCl (111) ; b. CsCl (100) ; c. CaF_2 (100) ; d. NaNO_3 (111)

Dans le cas du type CsCl le plan réticulaire (111) présente également un motif à une seule espèce d'ions. Mais il est cependant à champ plus faible que (100), car sa densité réticulaire l'est également. La faible différence qui existe entre ces deux plans réticulaires fait que (111) se développe quelquefois pour de fortes sursaturations (voir chapitre I A).

Dans le cas de structures du type CaF_2 le plan (111) a le champ électrostatique le plus faible, car c'est un plan de charge. Le plan (110) présente lui aussi un champ relativement élevé et l'expérience a effectivement montré quelquefois son existence.

Interprétation des résultats.

Les changements de faciès dans le cas de corps organiques étudiés par Wells (page 2) sont interprétés par cet auteur supposant que les faces qui se développent dans un solvant donné, sont celles qui contiennent des groupements capables d'avoir une interaction avec celui-ci. Puisque d'autre part, sont ces faces qui possèdent la vitesse de croissance la plus faible, il suffit de supposer que la liaison cristal-solvant produit un « freinage » appréciable de ces faces.

Les espèces cristallines que j'ai étudiées sont toutes à caractère ionique très prononcé. Les solvants dans lesquels les changements de faciès se produisent sont des solvants dipolaires. On peut donc supposer, qu'il existe une interaction cristal-solvant basée sur la fixation des dipôles du solvant sur des plans réticulaires du cristal par leurs champs électriques. Cette fixation tout à fait analogue à la solvation des ions en solution. Il n'est pas possible de calculer même approximativement cette solvation des faces cristallines. Dans le cas de la solvation des ions, ces calculs sont déjà fort complexes et les résultats obtenus assez loin de la réalité.

Par analogie avec la solvation des ions, on peut cependant tirer quelques conséquences. Un plan réticulaire à champ élevé fixera les dipôles du solvant plus fortement qu'un plan réticulaire à champ faible. Un plan réticulaire composé à la fois d'ions négatifs et positifs présente à une distance de l'ordre de grandeur de la maille élémentaire un champ pratiquement nul. Il est possible cependant que les dipôles qui se trouvent à une distance inférieure soient quand même fixés.

Mécanisme de changement de faciès par sursaturation

L'expérience montre que les cristaux obtenus près de l'équilibre (sursaturation très faible) présentent le même faciès que les cristaux qui naissent en phase vapeur, donc en absence de solvant. La présence du solvant modifie certainement l

esses de croissance des différentes faces cristallines. Les expériences de Spangenberg (1924) le montrent très clairement ; la vitesse de croissance des faces à champ faible reste néanmoins toujours la plus petite.

Lorsque la croissance a lieu à forte sursaturation, il n'en est plus de même. Il se produit une inversion dans l'ordre des vitesses de croissance. Ce sont alors les faces à champ fort qui ont la vitesse de croissance minimum. Cette inversion des vitesses peut être expliquée de la façon suivante :

Lorsque la solution se trouve fortement sursaturée, les ions en solution ainsi que les dipôles du solvant ont une configuration différente de celle qu'ils ont à la saturation. A l'interface cristal-solution il doit en être de même. Une diminution de la concentration en solvant change non seulement la configuration de la solution mais également celle des couches de solvatation fixées au cristal lui-même. Puisque à forte sursaturation la solution est plus pauvre en solvant, il doit en résulter une désolvatation. Celle-ci a lieu le plus facilement sur un plan réticulaire à champ faible. De ce fait, la vitesse de croissance de ce plan augmentera et l'expérience montre qu'elle pourra même dépasser la vitesse du plan à champ fort.

Le degré de sursaturation nécessaire pour provoquer le changement de faciès (désolvater la face à champ faible) sera d'autant plus élevé que la liaison cristal-solvant sera plus forte, d'autant plus élevé aussi que le sel sera moins soluble. Le graphique 8 qui résume les mesures, confirme bien ce point de vue.

Les changements de faciès par sursaturation peuvent donc être interprétés en supposant une solvatation du cristal par le solvant.

BIBLIOGRAPHIE A

- AMELINCKX, S. (1930). — *J. Chim. et Phys. Chim. Biol.*, 47, p. 213.
AMSLER. (1942). — *Helv. Phys. Acta*, 14, p. 699.
BERG, W. F. (1933). — *Proc. Roy. Soc. A.*, 164, p. 79.
BEUDANT, F. (1918). — *Ann. Min.*, 3, p. 329.
BERTHOUD, A. (1912). — *J. Chim. Phys.*, 10, p. 624.
BUNN, C. W. (1949 a). — *Disc. Farad. Soc.*, 5, p. 132.
BUNN, C. W. (1949 b). — *Disc. Farad. Soc.*, 5, p. 119.
FORESTIER, CREMER. (1952). — *C. R. Ac. Sciences*, 234, p. 930.
FRANCK, F. C. (1949). — *Disc. Farad. Sc.*, 5, p. 189.
FRANÇON, M. (1852). — *Revue d'Optique*, 31, n° 2, p. 65.
GAUBERT, P. (1911). — *Recherches récentes sur le faciès des cristaux*. Hermann, Paris, 44.
GOLDSZTAUB, S., KERN, R. (1953). — *Acta Crystallographica* (sous presse).
GROTH, P. (1908). — *Chemische Kristallographie*, Leipzig. Engelmann.
JOHNSEN, A. (1910). — *Wachstum und Auflösung der Kristallen*. Engelmann, Leipzig.
KERN, R. (1952 a). — *C. R. Acad. Sciences*, 234, p. 970.
KERN, R. (1952 b). — *C. R. Acad. Sciences*, 234, p. 1379.
KERN, R. (1952 c). — *C. R. Acad. Sciences*, 234, p. 1696.
KERN, R. (1953). — *C. R. Acad. Sciences*, 236, p. 830.
LEA, NURSE. (1949). — *Trans. Farad. Soc.*, 5, p. 351.
LEHMANN, O. (1877). — *Z. Krist.*, 1, p. 453.
NERNST, W. (1909). — *Z. Phys. Chem.*, 47, p. 52.
MIERS. (1903). — *Trans. Roy. Soc. London*, 202, p. 459.
NIGGLI, P. (1920). — *Z. Anorg. Chem.*, 1110, p. 50.
SCHUBNIKOW, A. (1914). — *Z. Krist.*, 53, p. 433.
SPANGENBERG. (1924). — *Z. Krist.*, 59, p. 383.
STRANSKI, HONIGMANN. (1948). — *Naturwiss.*, 35, p. 156.
STRANSKI, I. N. (1949). — *Disc. Farad. Soc.*, 5, p. 13.
VALETON, J. J. P. (1920). — *Phys. Z.*, 21, p. 1.
WEIL, R. — (1951). — Thèse de Doctorat, Paris, p. 97.
WELLS, A. F. (1946). — *Phil. Mag.*, 37, p. 184.
WELLS, A. F. (1949). — *Disc. Farad. Soc.*, 5, p. 197.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	325

PREMIÈRE PARTIE A

LES CHANGEMENTS DE FACIÈS EN MILIEU PUR

PARTIE I A : Le faciès des cristaux fonction de la vitesse d'évaporation du solvant.

Généralités.....	328
Choix des substances.....	329
Mode opératoire.....	329
Résultats	330
I. Sels du type NaCl.....	330
a) Solutions aqueuses.....	330
b) Solutions non aqueuses.....	332
II. Sels du type CsCl.....	334
III. Sels du type CaF ₂	334
IV. Nitrate de sodium.....	335
V. Urotropine.....	335
Nitrate de plomb, Gypse.....	336
Résumé.....	337

PARTIE II A : Mesures de la concentration pendant la croissance des cristaux.

Théories de la croissance des cristaux basées sur la diffusion.....	338
Variations de la concentration de la solution autour d'un cristal en voie de croissance.....	340
a) Principe de la méthode d'étude.....	341
Principe.....	341
Montage expérimental.....	343
Réglage de l'appareil.....	344
Sensibilité du dispositif réalisé.....	345
b) Application à l'étude de la croissance des cristaux à partir de solutions.....	345
Mode opératoire.....	345
Dépouillement des clichés.....	346
c) Étude de quelques halogénures alcalins.....	347

d) Étude du chlorate de sodium.....	
Méthode Françon	
Méthode des franges à ondes multiples.....	
B. Mesures des concentrations de la solution lors des changements de faciès.....	
Méthode d'étude	
Résultats.....	
a) Solutions aqueuses.....	
b) Solvant alcool méthylique.....	
Conclusions.....	
CHAPITRE III A : Interprétation des phénomènes de changement de faciès par sursaturation en milieu pur.	
Théories de la croissance basées sur la structure discontinue de la matière.....	
Constatations.....	
Interprétation des résultats.....	
Mécanisme de changement de faciès par sursaturation.....	
BIBLIOGRAPHIE A.....	

REVUE DES ESPÈCES MINÉRALES NOUVELLES

PAR C. GUILLEMIN,
Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne (Paris)
ET F. PERMINGEAT,
Service Géologique du Maroc (Rabat).

ABRÉVIATIONS UTILISÉES :

ch. propriétés chimiques.	<i>Gis.</i>	gisements.
— cristallographiques.	<i>Obs.</i>	observations.
— discussion.	<i>Opt.</i>	propriétés optiques.
— étymologie.	<i>Phys.</i>	— physiques.

ALLARGENTUM

RAHMDOR. — Neue Erzmineralien. — *Fortsch. Miner.*,
1900, 28, p. 69-70.

Composé donné à une modification hexagonale de l'argent,
contenant de 8 à 15 % d'antimoine et trouvée en masses assez
importantes avec dyscrasite dans les minerais de Cobalt,
Sud-Maroc.

C. G.

CHERALITE

H. U. BOWIE et J. E. T. HORNE. — Cheralite, a new
member of the monazite group. — *Min. Mag.*, 30, p. 93-99,
1933.

$(\text{Ce, La, Pr, Nd, —, Th, Ca, U}) (\text{P, Si})\text{O}_4$.

Crist. — Monoclinique. $a = 6,74$, $b = 7,00$, $c = 6,43$,
 $\beta = 104^\circ 6'$, $Z = 4$.

Prend la même structure que la monazite, la huttonite et $\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$.
Le spectre de poudre est fourni.

Phys. — En masses atteignant 5 cm. Deux clivages et un
plan de séparation probablement : (010) distinct, (100) diffi-

cile et (001) mauvais. Fragile, cassure inégale, Dureté : $d = 5,3$ (mes.), $5,41$ (calc.).

Opt. — Vert pâle à vert foncé. Éclat résineux à vitreux. Poussière blanche. Biaxe positif. $2V = 18^\circ$. Dispersion imperceptible. Pléochroïsme faible : n_p et n_m : vert, n_g : vert à une pointe de jaune. $n_p = 1,779$, $n_m = 1,780$, $n_g = 1,81$. Orientation probable n_p sur b , angle de n_g avec $c = 7^\circ$.

Chim. — Analyse sur substance purifiée :

P_2O_5	26,80
SiO_2	2,10
ThO_2	31,50
U_3O_8	4,05
Ce_2O_3	14,21
$T.R._2O_3$	13,35
$(Fe, Al)_2O_3$	tr.
CaO	6,30
PbO	0,92
$H_2O +$	0,06
Total	99,29

T. R. = La, Pr, Nd et en moins grande quantité : Gd, Sm, Yt. Th et U remplacent largement Ce, l'équilibre est rétabli par substitution de Ca aux terres cériques et d'un peu de Pb au P. Le terme ultime $CaTh(PO_4)_2$ a été obtenu par synthèse. Dans un diagramme triangulaire $4 CePO_4 - 2 CaTh(PO_4)_2 - 4 ThSiO_4$, les parallèles aux bases tracées aux $3/4$ des hauteurs délimitent arbitrairement les domaines de la monazite, de la huttonite (*Bull. Soc. fr. Min. Crist.*, 75, p. 173, 1925) et du composé artificiel. La composition d'une monazite de Ratnapura, Ceylan, analysée par S. J. JOHNSTONE (en 1915 et 1916, non publié) tombe dans le domaine entre la monazite et la huttonite.

Gis. — Provient d'une pegmatite kaolinisée affleurant à Kuttakuzhi, région de Kalkulam, État de Travancore, Indes. Associée à la tourmaline noire, au zircon uranifère, au chrysobéryl et au quartz enfumé. Se rencontre aussi, dispersé

les gneiss granitiques encaissants et dans les alluvions voisines.

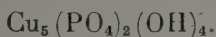
Étym. — De Chera, ancien royaume dravidien du territoire de Travancore.

Disc. — On peut se demander s'il est nécessaire de diviser le diagramme triangulaire en 6 domaines, plutôt qu'en 3, c'est-à-dire de prévoir 6 noms d'espèces pour une série terminée dont les représentants sont très rares en dehors des lazurites.

F. P.

CHINOÏTE

C. W. BECK et D. B. GIVENS. — Chinoïte, a new mineral. *Am. Min.*, 38, p. 191-196, 1953.



Crist. — Orthorhombique. $a = 7,47$, $b = 8,31$, $c = 5,83$, $b : c = 0,8989 : 1 : 0,7016$. Groupe spatial : Pnn-C_{2v}^{10} . Les raies du spectre de poudre sont fournies et comparées avec celles de la pseudomalachite. L'étude au goniomètre a été faite, les cristaux sont légèrement allongés suivant c , ils présentent les faces (010), (110) et (011).

Phys. — Clivage parfait, parallèle à c , dureté entre 5 et 6, densité = 5,22 (mes.), 5,24 (calc.).

Opt. — Couleur vert noir, éclat vitreux, translucide. $n_x = 1,698$, $n_m = 1,745$, $n_g = 1,793$; biaxe positif.

Chim. — Analyse effectuée sur 0,2399 gr.

CuO	69,09
P ₂ O ₅	24,33
H ₂ O	6,57
Total	99,99

Dis. — Se trouve dans des fissures de la monzonite, à la Copper mine, Chino Division, Kennecott Copper Corporation, Santa Rita, New Mexico.

Disc. — Cette nouvelle espèce nous semble, malgré les apparences, devoir être reportée à une espèce déjà connue : la libethenite $\text{Cu}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$.

Nous appuyons notre idée sur les faits suivants :

1° *Les diagrammes de poudre des deux espèces sont presque identiques.*

Chinoite		Libethenite	
Å	I	Å	I
5,83	8	5,85	9
4,80	10	4,81	10
4,16	1	4,11	1
3,74	7	3,69	7
2,91	8	2,92	9
2,63	9	2,63	10
2,55	3	2,55	5
2,43	5	2,40	6
2,31	4	2,30	6
2,08	1	2,07	4
1,92	2	1,91	6
1,87	1	1,86	4

La différence, assez faible, existant entre les rapports $a : b : c$, des deux espèces peut s'expliquer par une indétermination dans la notation des raies du diagramme de Debye Scherrer.

De même les angles des faces sont presque identiques dans les deux espèces.

2° *Optiquement, les deux espèces présentent de très grandes similitudes :*

Angle $2V$ proche de 90° , ce qui explique la différence existant entre les signes optiques.

Indices :

Chinoite... $n_x = 1,698$ $n_y = 1,745$ $n_z = 1,793$
 Libethenite. $n_x = 1,704$ $n_y = 1,747$ $n_z = 1,790$ à 0,003 près.

3° *Le problème posé par la densité :*

Les auteurs disent en effet « The crystal used in the specific gravity determination weighed 6,26 mg. in air, 3,17 mg in CCl_4 , from which a specific gravity of 5,22 was indicated

a close check with the theoretical value of 3,24 ». Or, en calculant la densité sur ces données, nous trouvons une densité égale à 3,24, ce qui, évidemment, est en désaccord avec la densité calculée.

Il apparaît pour conclure, que cette étude devrait être reprise, un trop grand nombre d'éléments paraissant douteux. Il serait nécessaire d'effectuer la comparaison avec la libethénite.

C. G.

CHROMKAOLINITE

T. SUDO et T. ANZAI. — *Proc. Imp. Acad. Tokyo*, vol. 18, p. 403, 1942.

Z. HARADA. — *Journ. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, sér. 4, 7, p. 195, 1948.

Variété verte de kaolinite, contenant 0,41 à 1,12 % de Cr_2O_3 , se trouvant avec des minerais de nickel à Urakawa. Sizuoka préf., Japon.

(L. J. SPENCER, 19th list of new minerals names. *Min. Mag.*, 29.)

C. G.

ESKEBORNITE

P. RAHMENDOR. — *Neue Erzmineralien. — Fortschr. Miner.*, 28, p. 69-70, 1950.

Fe Se.

Minéral d'apparence hexagonale, possédant des propriétés magnétiques, il ressemble à la pyrrhotine mais avec une dureté moindre, il donne un diagramme de poudre cubique, analogue à celui de la sulvanite. Le minéral a été trouvé dans un filon abandonné de Tilkerode. Hartz.

C. G.

FAHEYITE

M. L. LINDBERG et K. J. MURATA. — Faheyite, a new phosphate mineral from the Sapucaia pegmatite mine, Minas Gerais, Brazil. — *Am. Min.*, 38, p. 363-370, 1953.

$(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Na}) \text{Be}_2 \text{Fe}_x (\text{PO}_4)_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$.

Crist. — Hexagonal, $a = 9,43$, $c = 16,00$ Å. $Z = 3$. Uclivage prismatique parfait. Les données du spectre de poud sont fournies.

Phys. — En fibres de $0,01 \times 0,08$ mm. $d = 2,660$ (mes. 2,670 (calc.).

Opt. — Blanc, blanc bleuâtre ou brunâtre. Uniaxe positif. $n_p = 1,631$, $n_g = 1,652$.

Chim. — Attaqué lentement à chaud par HCl, NO_3H et SO_4H_2 dilués.

Analyse par M. L. LINDBERG :

P_2O_5	38,11
Fe_2O_3	21,42
Al_2O_3	0,10
Mn_2O_3 , FeO.....	néant
BeO.....	7,26
MnO.....	5,99
MgO.....	1,14
Na_2O	0,84
K_2O , F.....	tr.
H_2O	14,90
Insol.....	9,44
Total.....	99,20

En plus, par spectrographie : O, X % Ca, O, OX % Ti, Z et Pb et O, OOX % Co, Sr et Ba. Absence de 22 éléments. Na remplace probablement Mn.

Gis. — Trouvée par W. T. PECORA et A. L. DE M. BARBOSA, dans des géodes de la pegmatite de Sapucaia, Minas Geraes, Brésil. Elle forme des croûtes sur de la muscovite, du quartz, de la variscite et de la frondelite. Se trouvent également dans cette pegmatite: triphylite, heterosite, vivianite, roscherite, childrenite, hureaulite et apatite.

Étym. — Dédiée à J. J. FAHEY, géochimiste à l'U. S. Geological Survey.

F. P.

ISIGANEITE

Z. HARADA. — *Journ. Fac. Sci. Hokkaido, Univ.*, ser. 4, 7, p. 154, 1948.

Variété de psilomélane, provenant de Isigane mine, Sa-
gaoka, Aiti préflect., Japon.

(L. J. SPENCER, 19th. List of new minerals names. *Min. Mag.*, 29, p. 978, 1952.)

C. G.

LATIUMITE

C. E. TILLEY et N. F. M. HENRY. — Latiumite (sulphatic potassium-calcium-aluminium silicate), a new mineral from Albano. Latium, Italy. — (*Min. Soc. Notice*, n° 78, 1952) et *Min. Mag.*, 30, p. 39-45, 1953.

Crist. — Monoclinique. $a = 12,12$, $b = 5,13$, $c = 10,80$. $\beta = 108^\circ$. Cristaux tabulaires, suivant (100) qui est un clivage parfait, allongés avec : (101), (001), ($\bar{1}01$), ($\bar{2}01$), ($\bar{1}00$) et de mauvaises faces terminales. Macles simples ou multiples sur (100). Les données du spectre de poudre sont fournies.

Phys. — $d = 2,93$. Dureté : 5,5 à 6.

Opt. — Blanc à incolore, vitreux. $n_p = 1,600-1,603$, $n_m = 1,606-1,609$, $n_g = 1,614$, n_g sur b , angle θ de n_p avec C , variable ainsi que le signe optique : positif pour $\theta = 16$ à 22° avec $2V = 83$ à 90° , négatif pour $\theta = 22$ à 28° avec $2V = 72$ à 90° . Dispersion notable : $r > v$. Extinction par taches et cristaux parfois zonés.

Chim. — Soluble dans les acides faibles. Fusible au chalumeau en un verre, qui au rouge sombre, cristallise en grains fins d'un minéral semblable à la mélilite gehlénitique.

Analyse par J. H. SCOON :

SiO ₂	28,33
Al ₂ O ₃	24,67
Fe ₂ O ₃	0,50

A reporter.... 53,50

<i>Report</i>	53,50
FeO	0,55
MnO.....	0,02
MgO.....	0,76
CaO	29,41
Na ₂ O	1,11
K ₂ O	7,20
H ₂ O+.....	0,27
H ₂ O—.....	néant
SO ₃	5,42
CO ₂	1,60
Cl.....	0,14
Total	99,98

Correspond à une solution solide, d'autres analyses sont nécessaires pour établir sa formule.

Gis. — Trouvée dans deux blocs de projection du peperino d'Albano, Latium, en association avec : Haüyne, néphéline, un pyroxène voisin de l'hédenbergite, du grossulaire, méliolite et kaliophyllite.

Étym. — De la province d'origine : Latium.

F. P.

MAGNALUMOXYDE

N. A. BOBKOV et Y. V. KAZITZYN. — Le nouveau minéral magnalumoxyde. — *Mem. Soc. Russe Min.*, 80, p. 108-121, 1951 (d'après résumés en *Am. Min.*, et *Min. Abst.*).



Crist. — Cubique, T_d^1 (?). $a = 8,086 \text{ \AA}$. La structure est étudiée en détail et les relations entre la densité, l'indice de réfraction et la dimension de la maille des cristaux mixtes MgAl_2O_4 - $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$, sont calculées. Cristaux octaédriques avec (111) (110) et (113). Les cristaux atteignent 5 cm.

Phys. — Poussière gris vert. $d = 3,76$. Dureté : 7,5 à 8.

Opt. — Noir. Éclat vitreux. Isotrope. $n = 1,745$.

Chim. — Analyse :

Al ₂ O ₃	68,56
Fe ₂ O ₃	11,37
Cr ₂ O ₃	0,05
FeO.....	0,99
MgO.....	15,55
MnO.....	0,41
CaO.....	0,93
SiO ₂	0,75
TiO ₂	0,30
P ₂ O ₅	0,02
Na ₂ O.....	1,34
Total.....	100,27

Il y a excès de sesquioxides comme dans les spinelles artificiels.

Gis. — Trouvée dans un calcaire métamorphique, associée au diopside et à la phlogopite, près de la rivière Gon, affluent du Timp-ton, plateau d'Aldan, Sibérie du S.-E.

Étym. — D'après la composition.

F. P.

MEDAMAITE

Z. HARADA. — *Journ. Fac. Sci. Hakkaido Univ.*, ser. 4. 7, p. 153, 1948, de *Journ. Japanese Ceramic Assoc.*, 51, p. 381, 1943.

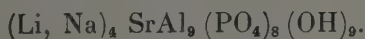
Variété de diasprore de Mutuisi, Wake Co. Okayama préf., Japon.

(L. J. SPENCER, 19th. List of new minerals names. *Min. Mag.*, 29, p. 988, 1952.)

C. G.

PALERMOITE

M. E. MROSE. — Palermoite and goyazite, two strontium minerals from the Palermo mine, North Groton, New Hampshire. — *Proc. 33th. meeting Min. Soc. Am., Abstract, in Am. Min.*, 38, p. 354, 1953.



Crist. — Orthorhombique. 1 mm. $a = 7,31$, $b = 15,79$, $c = 11,53$ Å, $a : b : c = 0,4630 : 1 : 0,7320$. $Z = 2$. Cristaux prismatiques longs, striés verticalement, avec : (001), (010), (011), (130) et (110).

Phys. — Fragile. Cassure fibreuse à subconchoïdale. Clivage : (100) parfait, (001) bon. Dureté : 5,5. $d = 3,22$ (mes.), 3,29 (calc.).

Opt. — Incolore à blanc. Éclat vitreux à adamantin. Poussière blanche. Fluorescence blanche sous les rayons X. Biais négatif avec $2V = 20^\circ$ environ. Dispersion modérée : $r < e$. $n_p = 1,627$, $n_m = 1,642$, $n_g = 1,644$, n_p sur c , n_m sur a , n_g sur b .

Chim. — Analyse :

LiO ₂	3,70
Na ₂ O	1,56
K ₂ O	0,40
CaO	0,88
SrO	9,20
Al ₂ O ₃	33,85
P ₂ O ₅	44,64
H ₂ O	5,97
Total	99,90

Gis. — Minéral hydrothermal tardif, se présentant dans des cavités de la pegmatite de Palermo, associé à : goyazite, sidérose, childrénite-éosphorite, béraunite, crandallite-de-taïte (?), whitlockite, brazilianite, apatite et quartz.

F. P.

RUMONGITE

BRACEWELL SMITH. — Report on columbite and related minerals in British Guiana. — *Rep. Geol. Surv. British Guiana* for 49-50, p. 33-40.

Nom donné *en prévision* à un minéral reconnu par la suite comme étant de l'ilmenorutile.

(L. J. SPENCER, 19th. list of new minerals names. *Min. Mag.*, 29, 1952.)

C. G.

ZINC-HÖGBOMITE

V. A. MOLEVA et V. S. MIASNIKOV. — Sur la högbomite et sa variété zinc-högbomite. — *C. R. Ac. Sc. U. R. S. S.*, 83, p. 733-736, 1952 (résumé sur traduction de G. JOURAVSKY).

$(\text{Mg, Fe, Mn})_7 (\text{Al, Cr, Fe})_{20} \text{TiO}_{39} (\text{Si})$.

Phys. — Petites tablettes ou grains très fins (1/100 mm.) ou croûtes sur du spinelle zincifère.

Opt. — Brun. $n_g = 1,837$, $n_p = 1,809$ (par immersion).

Chim. — Analyse par V. A. MOLEVA, sur substance soigneusement triée :

TiO ₂	5,12
Al ₂ O ₃	56,67
Cr ₂ O ₃	néant
Fe ₂ O ₃	9,32
FeO.....	8,41
MgO.....	9,07
ZnO.....	11,12
MnO.....	0,80
Total.....	100,51

D'où : FeO : MgO : ZnO = 0,417 : 0,227 : 0,137; deux autres analyses de högbomite sont données, leur teneur en zinc est 0 et 1,12 %. Ces trois analyses donnent un rapport $\text{R}_2\text{O}_3 = 1,5 : 1$ (Ti est compté dans R_2O_3) et une teneur en Ti très constante.

Gis. — N'est pas donné. Trouvée dans un échantillon de roche chloriteuse de la collection de l'Ac. Sc. U. R. S. S., associée à un spinelle zincifère (gahnite), avec épidote peu ferrifère, magnétite et apatite.

F. P.

SANS NOM

Y. TAKÉUCHI. — The crystal structure of magnesium pyroborate. — *Acta cryst., Copenhagen*, 5, p. 574-581, 1952.

$\text{Mg}_3 \text{B}_2 \text{O}_5$.

Crist. — Monoclinique. $P2_1/a$. $a = 12,10 \pm 0,05$. $b = 3,1 \pm 0,02$, $c = 9,36 \pm 0,05$ Å. $\beta = 104^\circ 20' \pm 30'$. $Z = 4$. Les données du spectre de poudre sont fournies ainsi que celles correspondantes au pyroborate triclinique artificiel. La structure est étudiée en détail.

Phys. — $d = 2,91$ (mes.), $2,89$ (calc.).

Chim. — Analyse par N. SAITO et N. KOKUBU : 1 ; après déduction du CO_3Ca et autres impuretés : 2.

	1	2
MgO	46,63	53,8
B ₂ O ₃	40,08	46,2
CaO.....	5,06	
SiO ₂	0,60	
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0,63	
H ₂ O+	0,90	
H ₂ O—	0,23	
CO ₂	5,06	
Total	99,46 (sic)	

Gis. — Trouvé à la mine de Suan, Corée du Nord, en 1937 par T. WATANABÉ qui donnera une description complète du minéral.

F. P.

L. C. COLEMAN. — Mineralogy of the Yellowknife Bayarea N.W. T. — *Am. Min.*, 38, p. 506-527, 1953.

Crist. — Monoclinique. $P 2/m$ (?). $a = 19,06$. $b = 4,14$. $c = 17,26$ Å. $\beta = 95^\circ 50'$. Le spectre de poudre est donné.

Phys. — Petites aiguilles grises.

Chim. — Par spectrographie, présence, par ordre d'importance décroissante, de : Fe, Cu, Sb, Pb, Ag. C'est sans doute un sulfosel.

Gis. — Trouvée dans la Brock Zone de la propriété Giant région de la Yellowknife Bay, Territoires du Nord-Ouest Canada.

Obs. — Ce minéral est rapproché de la « Galénobismuthite

« glénifère » de M. A. PEACOCK et L. G. BERRY (1940) et d'un silfo-antimoniure artificiel de Pb, obtenu par S. C. ROBINSON (1948).

F. P.

ERRATUM.

AMMONIA-ALUM. — J'ai noté ce nom comme nouveau (*B. S. r. Min. Crist.*, 75, p. 605, 1952) mais L. J. SPENCER me signale aimablement qu'il a été utilisé il y a fort longtemps, par exemple : T. THOMSON (1837) et *Dana's System Min.* (1^{re} 4^e éd.).

F. P.

ESPÈCES MINÉRALES DISCRÉDITÉES

« BUSZITE » = BASTNAESITE

J. GOŃI et C. GUILLEMIN. — Une espèce minérale discréditée. Buszite = bastnaesite. — *B. Soc. fr. Min. Crist.*, 76 p. 124-129, 1953.

« AREQUIPITE » = BLEINIERITE + QUARTZ

« CORONGUITE » = BLEINIERITE argentifère

« FLAJOLOTITE » = TRIPUHYITE

« MONIMOLITE » = BLEINIERITE

B. MASON et C. J. VITALIANO. — The mineralogy of the antimony oxides and antimonates — *Min. Mag.*, 30, p. 100-112, 1953.

« CHLORASTROLITE » = « ZONOCHLORITE » (?) = PUMPELLYITE

D. S. COOMBS. — The pumpellyite mineral series. — *Min. Mag.*, 30, p. 113-135, 1953.

« LOTRITE » = PUMPELLYITE

V. S. SOBOLEV. — Une nouvelle découverte de pumpellyite (Lotrite). — *Min. Journ. Geol. Soc. Lvov*, n° 1, 1947.

D. S. COOMBS. — The pumpellyite mineral series. — *Min. Mag.*, 30, p. 113-135, 1953.

NOUVELLES DONNÉES ET NOUVELLES DÉFINITIONS

Dans cette rubrique, nous donnerons les références et parfois un court résumé des publications qui complètent ou modifient largement la définition d'espèces minérales déjà étudiées portant un nom.

ALLEMONTITE = « STIBARSEN » = « WRETBLADITE »

C. PALACHE, H. BERMAN et C. FRONDEL. — *Dana's System of Mineralogy*, 7th ed., vol. I, p. 130, 1944.

P. E. WRETBLAD. (*Bull. S. fr. Min. Crist.*, 74, p. 189, 1951).

G. GAGARIN et R. CUOMO (*Bull. S. fr. Min. Crist.*, 75, p. 324, 1952).

Allemontite désigne le composé bien défini As-Sb et non les mélanges de ces éléments.

« ALPHAVREDENBURGITE » = « DEVADITE » = « GARIVIDITE » « BETA-VREDENBURGITE »

B. MASON. — Aspects minéralogiques du système $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-MnO-Mn}_2\text{O}_3$. — *Geol. Förs. Förh.*, 65, p. 97-180, 1943.

« AMOSITE »

J. C. RABBITT. — A new study of the anthophyllite series. — *Am. Min.*, 33, p. 263-323, 1948.

BENJAMINITE

E. W. NUFFIELD. — Benjaminite. — *Am. Min.*, 38, p. 550-552, 1953.

La benjaminite avait été décrite par SHANNON à partir d'un mélange d'aïkinite et d'un minéral argentifère. L'auteur pro-

pose de conserver le nom pour ce dernier minéral dont donne le spectre de poudre.

BLEINIERITE (ou BINDHEIMITE)

PARTZITE

STETEFELDITE

TRIPUHYITE

B. MASON et C. J. VITALIANO. — The mineralogy of antimony oxides and antimonates. — *Min. Mag.*, 30, p. 100-112, 1953.

CANNIZZARITE

A. R. GRAHAM, R. M. THOMPSON et L. G. BERRY. — Studies of mineral sulpho-salts : XVII cannizzarite. — *Am. Min.*, 38, p. 536-544, 1953.

Ce minéral diffère de la galénobismuthite, il est identique à un composé artificiel du système Pb-Bi-S, caractérisé par son spectre de poudre et les données cristallographiques.

CUPROBISMUTHITE

E. W. NUFFIELD. — Studies of mineral sulpho-salts : XVI Cuprobismuthite. — *Am. Min.*, 37, p. 447-452, 1952.



La validité de cette espèce est rétablie.

FARATSIHITE

S. CAILLÈRE et S. HÉNIN. — Nouvelles observations sur la faratsihite. — *C. R. Ac. Sc.*, 219, p. 458-59, 1944.

FORNACITE

VAUQUELINITE

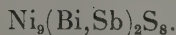
C. GUILLEMIN et J. PROUVOST. — Étude de la série fornacite-vauquelinite. — *Bull. Soc. fr. Min. Crist.*, 74, p. 432-438, 1951.

« **GOLDFIELDITE** » = **PANABASE TELLURIFÈRE**

R. M. THOMPSON. — Goldfieldite = tellurium tetrahedrite. — *Univ. Toronto Studies, Geol. Ser.*, 50, p. 77-78, 1946.

HAUCHECORNITE

M. A. PEACOCK. — Hauchecornite. — *Am. Min.*, 35, p. 440-46, 1950.



HEAZLEWOODITE

M. A. PEACOCK. — On Heazlewoodite and the artificial compound Ni_3S_2 . — *Univ. Toronto Studies, Geol. Ser.*, 51, p. 59-69, 1947.

Crist. — Rhomboédrique. $D_3^7\text{-R}_{32}$. $a = 5,730$, $c = 7,125$ Å. $r = 4,072$ kX. $\alpha = 89^\circ 25'$ $z = \text{I}$. Spectre de poudre identique à celui du composé artificiel.

Phys. — $d = 5,82$. Jaune bronze pâle. Éclat métallique. En section polie : crème, avec fort anisotropisme : brun à gris bleuâtre.

Chim. — Ni_2S_3 .

Gis. — Avec pentlandite, dans une bande de serpentine à Heazlewood. Tasmanie.

Obs. — Était considérée comme une variété de pentlandite (cf. *Dana's System Min.*, 1, p. 243, 1944).

HILLEBRANDITE

L. HELLER. — X-ray investigations of hillebrandite. — *Min. Mag.*, 30, p. 150-154, 1953.

JORDISITE

L. W. STAPLES. — Ilsemanite and jordisite. — *Am. Min.*, 36, p. 609-614, 1951.

La validité de l'espèce : MoS_2 amorphe est rétablie.

LEUCOPHOSPHITE

J. M. AXELROD, M. K. CARRON, C. MILTON, T. P. THAYER.
Phosphate mineralization at Bomi Hill and Bambuta, Liberia
West Africa. — *Am. Min.*, 37, p. 883-909, 1952.

OWYHEEITE

S. C. ROBINSON. — Owyheeite. — *Am. Min.*, 34, p. 394-402, 1949.

PARKERITE

1. — C. E. MITCHENER et M. A. PEACOCK. — Parkerite ($\text{Ni}_3\text{Bi}_2\text{S}_2$) from Sudbury, Ontario : redefinition of the species. — *Am. Min.*, 28, p. 343-355, 1943.

2. — M. A. PEACOCK et J. Mc. ANDREW. — On parkerite and shandite and the crystal structure of $\text{Ni}_3\text{Pb}_2\text{S}_2$. — *Am. Min.*, 35, p. 425-439, 1950.



PUMPELLYITE

D. S. COOMBS. — The pumpellyite mineral series. — *Min. Mag.*, 30, p. 113-135, 1953.

RANKINITE

K. M. MOODY. — The space-group and cell dimensions of rankinite. — *Min. Mag.*, 30, p. 79, 1953.

SAUCONITE

1. — C. S. ROSS. — Sauconite — a clay mineral of the montmorillonite group. — *Am. Min.*, 31, p. 411-424, 1946.

2. — G. T. FAUST. — Thermal analysis and X-ray study of sauconite and of some zinc minerals of the same paragenetic association. — *Am. Min.*, 36, p. 795-822, 1951.

SODDYITE

D. H. GORMAN. — Studies of radioactive compounds : V — Sodyite. — *Am. Min.*, 37, p. 386-393, 1952.

STIBICONITE

C. J. VITALIANO et B. MASON. — Stibiconite and cervantite. — *Am. Min.*, 37, p. 982-999, 1952.

TOBERMORITE

G. F. CLARINGBULL et M. H. HEY. — A re-examination of tobermorite. — *Min. Mag.*, 29, p. 960-962, 1952.

VEATCHITE

G. SWITZER et W. W. BRANNOCK. — Composition of veatchite. — *Am. Min.*, 35, p. 90-92, 1950.

Antérieurement décrite par G. Switzer (*Bull. Soc. fr. Min. Crist.*, 72, p. 464, 1949) comme un borate hydraté de calcium, sa formule s'établit maintenant : $3 \text{ SrO}, 8 \text{ B}_2\text{O}_3, 5 \text{ H}_2\text{O}$.

WISERITE

W. EPPRECHT. — Die Eisen-und Manganerze des Gonzen. *Contrib. Geol. Schweiz.*, Geotechn. Ser., 24, p. 128, 1946.
La validité de l'espèce est rétablie.

WITTICHENITE

E. W. NUFFIELD. — Studies of mineral sulpho-salts : XI — Wittichenite (Klaprothite). — *Econ Geol.*, 42, p. 147-160, 1947.
Cette espèce bien définie, de formule $3 \text{ Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$ a souvent été confondue avec la « klaprothite » (*Bull. Soc. fr. Min. Crist.*, 76, p. 145, 1953) ou de l'emplectite. Les mesures gravimétriques données dans le *Dana System Min.* (I, p. 418, 1944) pour la « Klaprothite » sont valables pour la wittichenite.

BIBLIOGRAPHIE

Basic science, par J. DARRELL BARNARD et L. EDWARDS, éditeur
Mac Millan Company, New York, 1951, 1 vol., 631 pages
450 figures, 175 × 235, prix : \$ 3.60.

Ce livre, où divers problèmes scientifiques d'ordre général (astronomie, physique, biologique et médical) sont traités d'un point de vue élémentaire, s'adresse aux jeunes gens qui cherchent la vocation et aux amateurs des questions scientifiques.

Chaque sujet est développé sous forme de monographie, le problème est posé, discuté et résolu dans quelques pages et illustré de très belles photographies (quelques-unes en couleur).

Une partie importante est consacrée aux applications.

Dans tout le texte on attache une importance primordiale à l'aspect *humain* de la science et à l'attitude des savants et des techniciens devant les problèmes envisagés.

Cette caractéristique fait l'originalité et la valeur de ce livre.

J. GARRIDO.

*
**

Verfärbung und Lumineszenz. Beiträge zur Mineralphysik, par
K. PRZIBRAM, éditeur : Springer-Verlag, Vienne, 1953, 1 vol.
275 pages, 69 figures, 36 tableaux, 160 × 235, prix : \$ 8.25.

Si certaines propriétés physiques des cristaux sont peu sensibles à l'état de perfection de réseau (densité, indices de réfraction) d'autres au contraire sont entièrement conditionnées par ces imperfections (durété, phosphorescence).

L'étude des colorations et décolorations des minéraux sous l'effet du rayonnement est un exemple de ces propriétés « sensibles à la structure » (« structure sensitive » properties en anglais, empfindliche Kristalleigenschaften, en allemand).

Dans une première partie, le livre présente d'abord les méthodes expérimentales pour l'étude des changements de couleurs : sources actives et autres procédés de coloration. L'auteur décrit ensuite les observations et les expériences sur les halogénures alcalins et quelques autres substances, puis il expose les bases de la théorie des centres colorés et enfin traite de la luminescence.

La deuxième partie de l'ouvrage est consacrée à la description des phénomènes observés sur les minéraux, tout particulièrement sur le sel gemme et la fluorine. On y trouve une liste complète des minéraux naturellement colorés par des rayonnements avec la description détaillée des observations.

L'ouvrage est clair, bien illustré et agréable à lire. Il présente sous forme condensée, de nombreux résultats jusqu'ici dispersés. (Malheureusement quelques erreurs se sont glissées dans les références bibliographiques.) C'est un excellent exposé sur une question d'actualité.

H. CURIEN.

■
* *

Gold. von Professor Dr. Ferdinand FRIEDENSBURG. Berlin, 2^e édition modifiée de BERG-FRIEDENSBURG, *Das Gold*. Avec une contribution du prof. Heinrich QUIRING. 98 tableaux et 30 figures. 1953. XI, 234 p. Lex. 8°. F. Enke, Stuttgart, éditeur. Prix broché : 30 DM. Relié : 33 DM. Collection : Die metallischen Rohstoffe. — Ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung. N° 3. (Les matières premières métalliques. Leurs conditions de gisement et leur importance économique.)

La première édition (1940) avait été l'œuvre de Georg Berg et Ferdinand Friedensburg. Berg étant décédé en 1946, la nouvelle édition a été rédigée par Friedensburg, qui est le directeur de cette collection, (dans laquelle différents métaux, Mo, Th, U, Cu, Pb, Zn, etc..., ont déjà paru) qui constitue une agréable présentation de « Statistiques Minières ».

La deuxième édition diffère de la première par la suppression justifiée d'un certain nombre de coupes géologiques et par la réduction de la partie historique, l'auteur de ce chapitre (H. Quiring) ayant publié en 1948 une « *Histoire de l'Or* » (F. Enke, Stuttgart).

Il a été tenu compte des données statistiques les plus récentes (1951) que l'auteur a pu consulter. C'est probablement au manque de telles données qu'il faut attribuer l'absence de toute indication concernant l'Abyssinie.

Le plan de l'ouvrage — identique pour toute la Collection — comprend une première partie (p. 1-74) indiquant : les conditions de gisement — l'exploitation — l'élaboration et l'utilisation du métal — l'historique — les marchés du temps de paix et du temps de guerre — Statistiques.

Les figures et des graphiques propres à cette deuxième édition mettent en valeur la partie statistique.

La deuxième partie (p. 75-237) donne la description des gisements et la production des pays — dans l'ordre alphabétique — assurant une certaine exploitation d'or.

On est un peu étonné de voir (p. 71) figurer des noms hongrois sur la carte des gisements roumains. (Dans le Lexique, il ne figure généralement que les noms hongrois de ces mêmes gisements.) On peut aussi trouver curieux de lire (p. 303) : (Deutsch) Ostafrika 1953 !

A propos de l'Union Française (p. 127) l'auteur a jugé utile de compléter : « L'exploitation minière des territoires d'obédience française reste en général considérablement en arrière du développement d'autres territoires coloniaux. L'exploitation aurifère ne fait pas exception à cette règle » — de la première édition par « L'aversion du capital français contre le risque, l'instabilité du régime gouvernemental dans la Métropole et un excès de prescriptions paralysent l'initiative privée indispensable pour une campagne de recherches et d'exploitation sur une grande échelle. »

Quelques fautes d'impression déparent cette deuxième édition : p. 10 : (Au AG) Te₄.... Coloradorit.....; p. 125 : Guayane française....; p. 90 : Enterprises, Syndicat Minière, 2 fois Kilo-Molo....; p. 233 : Syndicate Minières. P. 207 : la fin du paragraphe est la répétition de la phrase initiale du paragraphe précédent. P. 145 : en ce qui concerne Madagascar, il n'est pas renvoyé au tableau de la production coloniale française de la page 127.

Le rapport Sb : Au (p. 123) du minerai de la Lucette ne correspond pas à ce que l'on peut calculer d'après les valeurs données par De Launay ou par Bellanger. Le travail de Sevensma sur les mines d'or de la région de Saint-Yrieix, paru après la première édition n'est pas cité.

R. WEIL.

*
* *

Ferrous analysis, par E. C. PIGOTT, éditeur : Chapman et Hall, Londres, 1953, 1 vol., 690 pages, 65 figures, 31 tableaux 145 × 230, prix : 84 s.

Ce traité présente les aspects théoriques et pratiques de l'analyse des alliages ferreux. Après un exposé de 50 pages des techniques analytiques courantes (avec un tableau synoptique des qualités comparées des diverses méthodes), l'auteur décrit en détail les divers éléments importants dans les alliages : Al, As, Be, B, C, Ce, Cr, Co, Cu, H, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, Nb, N, O, P, Se, Si, S, Ta, Te, Sn, Ti, W, U, Va, Zn, Zr. Pour chacun de ces éléments, il rappelle les propriétés physiques et chimiques des corps purs et

les alliages qu'ils forment avec le fer, expose les méthodes d'extraction et de détection, les discute et donne une abondante bibliographie.

Un court chapitre (30 pages) est consacré aux analyses microchimiques du fer et des aciers (en particulier, microbalance et polarographie).

Le livre se termine par deux chapitres consacrés, l'un à l'analyse des minerais de fer et des alliages, l'autre à l'analyse des réfractaires et en appendice, par une liste d'analyses d'alliages types avec un glossaire de termes chimiques et métallurgiques.

L'ouvrage est clair, moderne, facile à consulter. Les métallurgistes l'accueilleront sûrement avec grand intérêt.

H. CURIEN.

*
**

De la merveille de couleurs des minéraux et des pierres décoratives, par A. E. FERSMAN, édition d'État, Section de la littérature de la jeunesse, Moscou, 1952, 1 vol., 210 pages, 133 figures, 6 tableaux, 1 portrait de Fersman, 150 × 220.

Fersman expose magistralement dans ce petit livre la naissance et le développement de l'industrie des minéraux et des pierres, employés dans l'art décoratif non seulement en U. R. S. S., mais aussi dans d'autres pays.

Cet ouvrage reflète les connaissances acquises par l'auteur dans le domaine des pierres décoratives, grâce à ses notes de voyages, ainsi qu'aux extraits des archives des différentes contrées, aux légendes merveilleuses et aux récits des peuples de l'Orient. Ajoutées à tout cela, les connaissances géologiques et minéralogiques, développées par Fersman, font de l'ouvrage un manuel qui sera lu avec intérêt.

Nous trouvons dans ce livre les paragraphes suivants : Introduction (12 p.), Pierres colorées de l'U. R. S. S. (16 p.), Tonalité propre des minéraux et des pierres (9 p.), Diamant (16 p.), Minéraux et pierres rouges (13 p.), Minéraux et pierres verts (10 p.), Néphrites (16 p.), Lazurites (10 p.), Marbres (16 p.), Quartz et ses variétés colorées (21 p.), Jaspes (21 p.), Perles (14 p.), Ambres (4 p.), Rôle des pierres décoratives dans l'avenir (7 p.), Petit glossaire minéralogique (12 p.).

Hélas, ce travail, resté inachevé après la mort de Fersman, n'a pu paraître qu'en 1952, grâce à l'effort des professeurs D. I. Tschernikov, N. K. Razoumovsky et E. S. Sinégoub.

C. KURYLENKO.

*
**

X-ray identification and crystal structures of clay minerals, éd. par G. W. Brindley, Londres, 1951, Mineralogical Society (Clay Minerals Group), 1 vol., 345 pages, 81 figures, 61 tableaux 145 × 220.

Ce livre, publié sous la direction et avec la collaboration G. W. Brindley, rendra les plus grands services à tous ceux qui intéressent la question des argiles. Les auteurs des différents chapitres sont des spécialistes des problèmes posés par l'étude des minéraux argileux, comme le montre le bref résumé suivant :

1. — Introduction.

— Chapitre 1 : Les méthodes expérimentales, par G. W. Brindley.

— Structure générale des silicates phylliteux ; Principales méthodes employées pour leur étude : rayons X (chambres focalisantes de Guinier ou de Brindley) ; méthodes chimiques, thermiques et optiques.

2. — Étude des différents groupes de minéraux argileux.

— Chapitre 2 : Le groupe du kaolin, par G. W. Brindley.

— Structure des minéraux de ce groupe et leur identification aux rayons X ; Hydratation et déshydratation de l'halloysite et formation de complexes organiques ; Minéraux dont la structure est identique à celle de la kaolinite (serpentine, chamosite,...)

— Chapitre 3 : Action de la chaleur sur les minéraux du groupe du kaolin, par H. M. Richardson.

— Chapitre 4 : Le groupe de la montmorillonite, par D. M. C. Mac Ewan.

— Nomenclature, structure et classification des montmorillonites ; Étude aux rayons X : position des raies de diffraction en relation avec l'état d'hydratation, l'échange de cations et la formation des complexes organiques ; Méthodes utiles pour l'identification ; Action de la chaleur.

— Chapitre 5 : Le groupe des micas, par R. E. Grim, W. F. Brindley et G. Brown.

— Nomenclature : emploi du terme général « hydro-mica » et du terme « illite » ; Structure des différents micas ; Comparaison des micas bien cristallisés et des « illites » ; Existence d'« interstratification » de feuillets de micas et de montmorillonites ou de vermiculites ; Action de la chaleur ; Identification aux rayons X.

— Chapitre 6 : Le groupe des chlorites, par G. W. Brindley et K. Robinson.

- Classification des chlorites; Structure; Identification aux rayons X; Action de la chaleur.
- Chapitre 7 : Les vermiculites, par G. F. Walker.
 - Étude aux rayons X : distinction entre les vermiculites et les chlorites ou les montmorillonites; Structure; Propriétés physiques et analyses chimiques; Interstratifications vermiculites-micas.
- Chapitre 8 : La sépiolite, par M^{lle} S. Caillère.
- Chapitre 9 : La palygorskite (ou attapulgitite), par M^{lle} S. Caillère et S. Hénin.
 - Historique; Propriétés physiques et analyses chimiques; Action de la chaleur; Étude aux rayons X; Structure.
- Étude des minéraux pouvant accompagner les minéraux argileux.
- Chapitre 10 : Oxydes et hydroxydes d'aluminium et de fer, par H. P. Rooksby.
- Chapitre 13 : Les minéraux non argileux trouvés dans les argiles, par D. M. C. Mac Ewan; Pyrophyllite, talc, silice, feldspaths, carbonates et phosphates.
- Les imperfections cristallines existant dans les argiles.
- Chapitre 11 : Diffraction des rayons X par les structures interstratifiées au hasard, par G. Brown et D. M. C. Mac Ewan
 - la théorie de Hendricks et Teller permet de déduire, de l'équidistance basale observée, le rapport de la teneur en chaque type de feuillets.
- Chapitre 12 : Diffraction des rayons X par des empilements de feuillets déplacés au hasard les uns par rapport aux autres, par G. W. Brindley.
 - la théorie de Laue et Warren établit la relation qui existe entre ces structures et la répartition des intensités dans les bandes *hkl* de diffraction.
- Conclusion.
- Chapitres 14 : L'interprétation des diagrammes des mélanges, par G. W. Brindley et D. M. C. Mac Ewan.

Tous les chapitres de ce livre qui est un excellent résumé de nos connaissances sur les argiles, sont suivis de nombreuses tables donnant tous les renseignements numériques dont l'expérimentateur peut avoir besoin (en particulier, les données concernant l'identification par les rayons X), ainsi que d'une bibliographie abondante.

Certains chapitres, tels que ceux écrits par G. W. Brindley D. M. C. Mac Ewan, sont d'une clarté remarquable.

Par contre, celui sur les micas est assez confus dans son plan. Cela tient peut-être à la multiplicité des auteurs, ce qui entraîne quelques redites.

D'ailleurs, des répétitions ont lieu, d'un chapitre à l'autre, même à l'intérieur de chapitres bien ordonnés, quand on passe par exemple, de l'étude aux rayons X à l'étude thermique d'un groupe de minéraux. Ce léger défaut, qui semble inévitable dans un tel ouvrage, est vite effacé par les qualités de ce livre dont tout chercheur intéressé par les argiles peut faire son « livre de bord ».

M. RAVAILLE.

ERRATUM

Bulletin 4-6 (1953), t. LXXVI, p. XLVIII, 26^e ligne :

Au lieu de :

les conclusions de Hugo Strunz

lire :

les conclusions de I. I. Chafrawosky

Le secrétaire-gérant : A.-J. ROSE.

ÉTUDE DU FACIÈS DE QUELQUES CRISTAUX IONIQUES A STRUCTURE SIMPLE ¹

DEUXIÈME PARTIE (B)

INFLUENCE DES COMPAGNONS DE CRISTALLISATION SUR LE FACIÈS DES CRISTAUX

PAR RAYMOND KERN,
Laboratoire de Minéralogie et Pétrographie
de l'Université de Strasbourg.

Sommaire. — Après avoir étudié les changements de faciès en milieu pur ⁽¹⁾, on met en évidence dans cette deuxième partie **B**, l'influence des compagnons de cristallisation sur le faciès des cristaux. On donne d'abord un historique sur les différentes idées concernant l'influence des compagnons de cristallisation sur le faciès des cristaux. Ensuite une méthode est mise au point qui permet de mesurer au cours de la croissance des cristaux, la variation de la concentration du sel en solution ainsi que la teneur en impureté. Elle met en évidence, que le compagnon de cristallisation présent dans le milieu ne suffit pas pour provoquer un changement de faciès. Il n'est pas nécessaire que la solution atteigne un degré de sursaturation bien défini. L'expérience de décroissance concave de G. Friedel est reprise et elle permet de faire abstraction des phénomènes dus à la sursaturation. De cette manière, l'effet du compagnon de cristallisation peut être étudié seul. Ces expériences montrent aussi, que la formation de « mixtes » n'est pas une condition nécessaire en ce qui concerne le changement de faciès. L'importance des faces qui apparaissent est régie par les relations de paramètres qui existent entre le cristal et l'impureté considérée à l'état cristallisé anhydre. On en donne une interprétation.

HISTORIQUE

L'exemple de changement de faciès dû à un compagnon de cristallisation que l'on cite dans tous les ouvrages classiques est celui de la cristallisation du sel gemme en présence d'urée signalé déjà par Romé de l'Isle.

(1) Bull. Soc. franç. Minér. Crist. (1953), LXXVI, p. 325.

Si l'on consulte Groth (1908) on est impressionné par le nombre de compagnons de cristallisation qui sont indiqués comme modifiant le faciès des halogénures alcalins. Pendant une centaine d'années les chimistes et les minéralogistes ont accumulé des faits souvent contradictoires. Certains prétendent que telle impureté produit dans certaines conditions un changement de faciès, d'autres affirment le contraire en indiquant une recette bien meilleure.

Spangenberg, Gille (1927) attribuent les changements de faciès à la formation de complexes entre le sel en solution et l'impureté. La formation du complexe doit modifier la viscosité de la solution et par conséquent la constante de diffusion. L'explication du changement de faciès doit donc être donnée par la théorie de la diffusion.

D'autres auteurs étudient surtout l'action des colorants sur le faciès des cristaux. Gaubert (1911) signale le cas du nitrate de plomb dont le faciès change lorsque la solution est très concentrée en bleu de méthylène. Les cristaux obtenus sont fortement colorés et présentent un pléochroïsme. Une condition nécessaire pour que le changement de faciès se produise, est donc une « syncrystallisation » cristal-impureté. Neuhaus (1930), par contre, dit que l'importance de changement de faciès n'est pas en relation avec l'intensité de coloration. Marc et Wenk (1910) montrent que l'addition d'une impureté ne modifie ni la constante de diffusion (contrairement à la théorie de la diffusion), ni la tension superficielle (contrairement à la théorie de Curie), mais retarde très fortement la vitesse de cristallisation du système. Ils supposent que seule une adsorption du colorant sur les germes même peut expliquer ce phénomène, mais ne donnent aucune précision sur ces phénomènes d'adsorption.

Buckley (1951), par contre, en étudiant l'influence des anions sur le faciès des cristaux, a pu mettre en évidence l'adsorption par certaines faces cristallines et a supposé que ce sont les groupements d'oxygène de l'impureté, disposés en triangles, qui assurent cette fixation. Une étude ultérieure sur une trentaine de sels en présence de plusieurs centaines de

colorants a conduit à des résultats analogues. Souvent la « syncristallisation » est également une condition nécessaire. Buckley n'a pu donner une interprétation générale de ces changements de faciès, les espèces cristallines et les impuretés étant de nature assez complexes.

Frondel (1940) produit les changements de faciès (100) → (111) des halogénures alcalins type NaCl en ajoutant certains colorants dans les eaux-mères. Le colorant « syncristallise » toujours et s'adsorbe suivant les plans (100), ce qui est contraire à l'idée fondamentale des changements de faciès : le « freinage » du plan (111) par l'impureté.

Bunn (1953), dans un beau travail, met en parallèle les changements de faciès avec les phénomènes d'adsorption, l'épitéxie et de formation de cristaux mixtes. Ces phénomènes sont nécessaires pour provoquer le changement de faciès. Lors de la syncristallisation trois paramètres du cristal et de l'impureté doivent être voisins ; dans le cas de l'épitéxie il suffit que deux ou même un seul de ces paramètres le soient ; après Bunn, l'adsorption ne nécessite aucune relation paramétrique. Il étudie en détail les halogénures d'ammonium ainsi que NaCl en présence d'urée. Sa conclusion est la suivante : les changements de faciès sont dus à une épitéxie de l'impureté sur la face naissante ; l'impureté rentre dans la structure sous forme d'un mixte pauvre en impureté. Les rayons X ne sont pas capables de déceler de tels mixtes.

Royer (1934) montre sur de nombreux exemples que si l'impureté produit de nouvelles faces F, on peut trouver une relation d'épitéxie entre le plan réticulaire qui correspond à la face F et un certain plan de l'impureté ; l'impureté étant considérée à l'état cristallisé anhydre. Si cette relation n'est pas bien vérifiée, le changement de faciès se produit difficilement, voire pas du tout. Royer ne se prononce pas sur l'existence réelle de cette épitéxie et sur la formation de mixtes. Il serait évidemment difficile de concevoir, par exemple, une épitéxie du chlorure d'aluminium anhydre sur un cristal de NH_4Cl en solution aqueuse.

Hahn (1934), à l'aide d'impuretés radioactives, montre que

les cristaux forment des mixtes avec certaines impuretés. Lorsqu'un changement de faciès se produit, cette adsorption est importante et même orientée. Mehmel et Nespital (1933) en se basant sur le travail de Hahn, ont étudié les cristaux dont le faciès a été modifié par du chlorure de plomb. L'étude aux rayons X a montré que les cristaux riches en PbCl_2 formaient réellement des mixtes, qui sont souvent des édifices « sandwiches » avec une alternance de plusieurs couches KCl et d'un complexe $(\text{KPbCl}_3)_3\text{H}_2\text{O}$.

CHAPITRE I B

EXPÉRIENCES DE CROISSANCE

Les recherches que je viens de citer montrent bien l'influence des compagnons de cristallisation sur le faciès des cristaux. Cependant ce n'est pas le seul facteur dont dépend ce faciès ainsi que je l'ai montré dans la première partie. Pour préciser l'importance relative du facteur impureté et facteur sursaturation j'ai étudié les sels du type NaCl . La sursaturation provoque dans ce cas un changement de faciès $(100) \rightarrow (111)$. J'ai comparé les effets produits par des impuretés provoquant ce même changement de faciès.

Méthode d'étude.

J'ai déterminé l'effet de l'impureté sur la sursaturation nécessaire pour provoquer le changement de faciès. Pour cela une solution saturée en halogénure alcalin contenant une certaine quantité d'impureté est évaporée sur la demi-boule du réfractomètre d'Abbe-Pulfrich. On mesure l'indice de réfraction du liquide au moment où apparaissent les premiers cristaux de faciès voulu. Cette mesure permet de déterminer à la fois la sursaturation Δ en halogénure alcalin et la teneur réelle σ en impureté. Cela est possible si on connaît la composition initiale de la solution à évaporer. On détermine donc au préalable le réseau de courbes indice de réfraction-concentration en sel pour différents taux d'impureté.

Considérons par exemple le cas de NaCl-H₂O-urée. Des solutions de différentes teneurs σ en urée sont préparées avec des taux croissants de NaCl. Il faut s'assurer qu'il n'y a pas de précipitation d'un sel double qui modifierait la composition de la solution. On mesure l'indice de réfraction de toutes ces solutions. Les courbes sont approximativement des droites parallèles (graphique 1 B). Les valeurs de la saturation de NaCl pour différentes teneurs en urée, déterminent la courbe S. On peut facilement extrapoler les droites dans les domaines

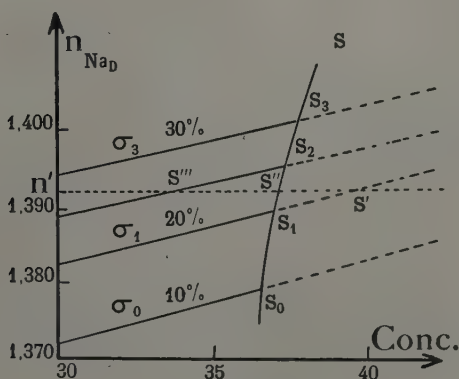


FIG. 1 B.

instabilité. Soit S_1 le point figuratif d'une solution à étudier. Elle est saturée en sel et contient σ_1 % d'urée. On évapore partiellement le solvant et lorsque les premiers cristaux de sels recherchés apparaissent, on mesure l'indice de réfraction ; soit n' cet indice. Si l'augmentation de l'indice de réfraction correspondait simplement à une augmentation de la concentration en NaCl, le point figuratif serait S'_1 . Si au contraire, la concentration en NaCl, restait constante, le point figuratif se trouverait en S'' . Or, en réalité, la concentration en urée ainsi que la teneur en NaCl ont augmenté toutes les deux ; le point figuratif se trouve donc entre S'_1 et S'' . Sa position exacte peut être trouvée par approximations successives ; mais il existe un moyen plus direct pour la déterminer : on peut tracer la courbe concentration en urée-concentration

en NaCl pour un indice de réfraction constant ($n' = \text{Cte}$). Cette courbe se déduit du graphique 1 B. Une deuxième relation connue est celle du rapport concentration-urée-concentration NaCl qui est constant. Ce rapport est déduit du point figuratif S_1 . Dans le graphique 2 B figurent ces deux relations. L'intersection de ces deux droites fournit le point recherché.

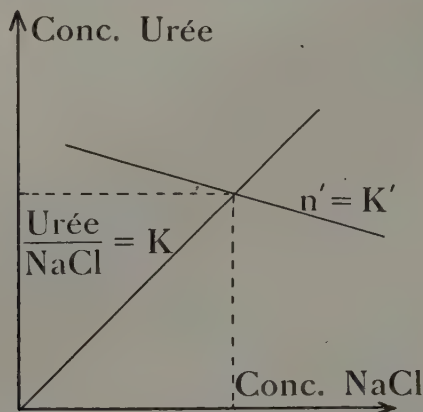


FIG. 2 B.

Résultats des mesures.

a) *Changement de faciès (100) → (111).*

Les résultats sont les suivants. Kern, Tillmann (1953) :

I) Pour un degré de sursaturation suffisamment faible, malgré la présence d'impureté en quantité quelconque, il se produit aucun changement de faciès.

II) Pour un sel donné et une teneur en impureté définie, existe un degré de sursaturation à partir duquel le changement de faciès se manifeste. La courbe de sursaturation en fonction de la teneur en impureté, délimite des régions, les points figuratifs se trouvant au-dessous de la courbe correspondent à la forme (100); les points situés au-dessus correspondent à la forme (111).

III) Les changements de faciès se produisent toujours à une sursaturation plus faible qu'en milieu pur.

Il n'est donc pas suffisant d'ajouter une impureté susceptible de produire le changement de faciès en question, mais aussi faut-il réaliser une certaine sursaturation. Il n'est donc pas possible, contrairement à ce que l'on pensait, de définir une teneur en impureté modifiant le faciès.

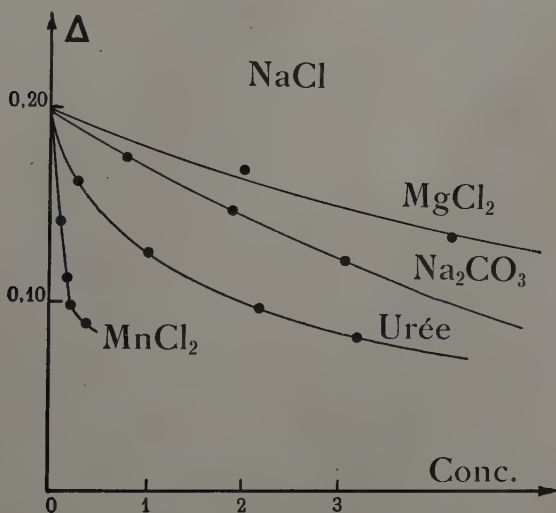


FIG. 3 B.

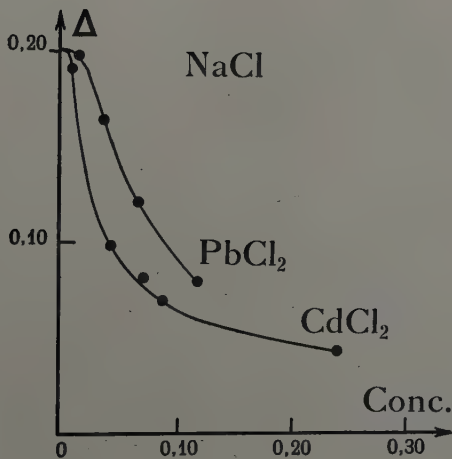


FIG. 4 B.

Dans la suite, je donne les résultats des mesures sous forme de courbes de changement de faciès. En ordonnées se trouve portée la sursaturation, différence entre la concentration correspondant au changement de faciès et la concentration de saturation, exprimée en moles de sel pour 100 moles d'eau. En abscisses on porte la concentration en impureté exprimée dans la même unité.

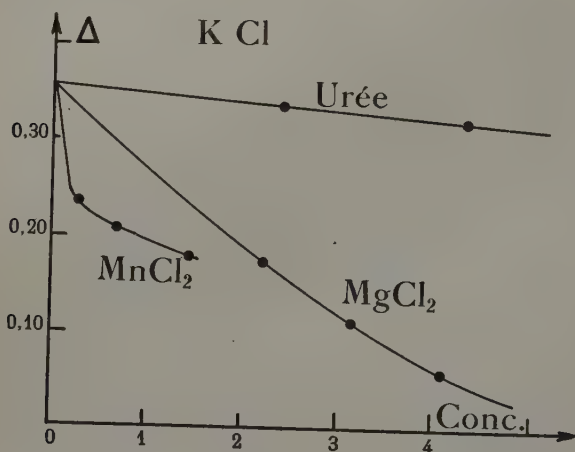


FIG. 5 B.

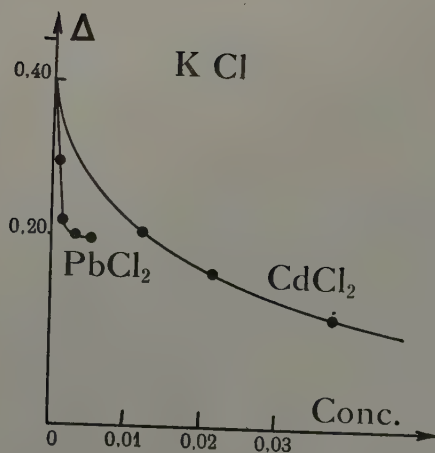


FIG. 6 B.

Les graphiques 3 B et 4 B sont relatifs à NaCl avec les puretés suivantes : chlorure de magnésium, carbonate de sodium, urée, chlorure de manganèse, de cadmium et de plomb.

Les graphiques 5 B et 6 B se rapportent à KCl avec les mêmes impuretés à l'exception du carbonate de sodium.

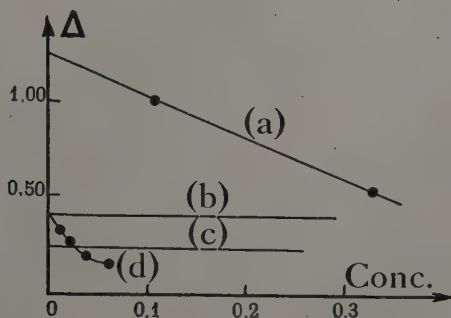


FIG. 7 B.

Les résultats relatifs à l'action des colorants, fuchsine S et crocéine brillante, sur KCl, NaCl et KI se trouvent dans le graphique 7 B : (a) KI-Fuchsine ; (b) KCl-Fuchsine ; (c) KCl-Crocéine ; (d) KCl-Crocéine.

Des essais qualitatifs ont donné des résultats analogues dans le cas des sels du type CsCl.

Changement de faciès (100) → (110).

D'après la littérature ce changement de faciès est produit sur NaCl et KCl par le glycolle et le chlorure mercurique. J'ai constaté que :

(I) Aux faibles sursaturations il n'y a aucun changement de faciès.

(II) Lorsque la sursaturation de la solution est suffisamment élevée, il se forme les faces (100), (111), (110).

(III) Si la teneur en impureté est très élevée, la forme (110) est seule à condition que la solution ait atteint un certain degré de sursaturation.

Remarques.

Les résultats précédents montrent que le faciès des cristaux étudiés dépend toujours de la sursaturation malgré la présence d'impureté. Comme j'ai montré précédemment, les mêmes changements de faciès (sauf (100) → (110)) peuvent être obtenus en faisant varier la sursaturation de la solution pure. Il est possible que le mécanisme de changement de faciès soit resté le même; le rôle de l'impureté étant de ralentir la croissance et de ce fait favoriser les sursaturations élevées. L'expérience a bien montré que toutes les impuretés étudiées stabilisent la solution. Marc et Wenk (1910) ont déjà mis ce fait en évidence sur d'autres espèces cristallines.

Si la fonction du compagnon de cristallisation était seulement de stabiliser la solution, le changement de faciès produirait toujours à la même sursaturation. Or, les courbes tracées montrent que l'impureté produit un abaissement de la sursaturation limite à laquelle se produit ce changement de faciès. Cet abaissement est d'autant plus prononcé que la concentration en impureté est plus forte. D'autre part, cette diminution est d'autant plus forte que les paramètres de la face (111) de l'halogénure alcalin sont plus voisins de ceux d'un plan réticulaire dense de l'impureté. De telles relations de paramètres ont été indiquées par Royer (1934) et Buerger (1933) dans le cas de MnCl_2 , CdCl_2 , ZnCl_2 , PbCl_2 et de l'urée. Je les rappellerai plus loin et en donnerai de nouvelles.

Nous avons vu que l'impureté ne peut jouer uniquement le rôle de stabilisant. Il faut supposer l'existence de deux mécanismes de changement de faciès : un premier qu'on rencontre dans un milieu pur et qui fait intervenir la sursaturation, un deuxième dû à l'impureté qu'il s'agit encore de préciser (voir chapitre I).

Relations paramétriques entre le cristal et l'impureté.

Urée.

L'urée de système orthorhombique, peut former deux cristaux sur NaCl : (110) de l'urée sur (100) de NaCl et (100) de l'urée sur (110) de NaCl.

et $(\bar{1}\bar{1}1)$ de l'urée sur (111) de NaCl. Réciproquement NaCl peut s'orienter d'une façon identique sur les cristaux d'urée.

Les accollements (111) sont ceux où les écarts de paramètre sont les plus faibles. En indiquant les écarts entre le support et l'impureté en % de la maille du support, en affectant ces valeurs du signe + si les nœuds d'une rangée du support ont un paramètre plus grand que les nœuds d'une rangée du dépôt, on a les écarts suivants :

PLANS D'ACCOLEMENT		RANGÉES D'ACCOLEMENT		ÉCARTS
SUPPORT	DÉPÔT	SUPPORT	DÉPÔT	
(111) NaCl	(111) urée	$[110]$	$[1\bar{1}0]$	— 0,75 %
		$[11\bar{2}]$	$[11\bar{2}]$	+ 7,25 %
(111) KCl	(111) urée	$[1\bar{1}0]$	$[1\bar{1}0]$	+ 8,0 %
		$[11\bar{2}]$	$[11\bar{2}]$	+ 13,4 %

D'après Bunn l'accord des paramètres entre (001) de l'urée et (100) NaCl serait meilleur ; toutefois il ne se produit guère en pratique.

L'expérience montre que la sursaturation limite de changement de faciès, à concentration égale en urée, est plus faible dans le cas de NaCl que dans celui de KCl (figures 3 B et 5 B), ce qui confirme l'effet des relations paramétriques.

MnCl₂, CdCl₂, ZnCl₂.

D'après Royer ces sels rhomboédriques du type CdCl₂, présentent une concordance de leurs rangées $[10\bar{1}]$ et $[01\bar{1}]$ avec $[0\bar{1}1]$ et $[01\bar{1}]$ de NaCl et KCl. Les écarts sont indiqués dans le tableau suivant :

	CdCl ₂	ZnCl ₂	MnCl ₂
NaCl.....	+ 3,2 %	+ 5,2 %	+ 7 %
KCl.....	+ 11,8 %	+ 13,6 %	+ 15 %

Les courbes (figures 3 B et 5 B) montrent bien que l'effet de l'impureté est plus marqué dans le cas où les relations paramétriques sont meilleures.

PbCl₂.

D'après Royer le plan (001) de PbCl₂ a un réseau pseudocubique qui est analogue en forme et en dimensions avec les réseaux des plans (111) de KCl et NaCl. Les écarts sont figurés dans le tableau suivant :

PLANS D'ACCOLEMENT		RANGÉES D'ACCOLEMENT		ÉCARTS
SUPPORT	DÉPÔT	SUPPORT	DÉPÔT	
NaCl (111)	(001) PbCl ₂	[110]	[100]	— 12,7 %
		[112]	[010]	— 10,1 %
NaCl (110)	(001) PbCl ₂	[001]	[100]	+ 20 %
		[110]	[010]	+ 5 %
KCl (111)	(001) PbCl ₂	[110]	[100]	— 2,74 %
		[112]	[010]	+ 2,54 %
KCl (110)	(001) PbCl ₂	[110]	[100]	— 2,74 %
		[001]	[010]	+ 20 %

Les écarts de (111) NaCl et (001) PbCl₂ sont très importants. Pour (110) NaCl et (001) PbCl₂ il existe une bonne concordance entre deux rangées contenues dans ces plans. L'effet que produit PbCl₂ sur le changement de faciès de NaCl (100) (111) est très important bien que les écarts paramétriques soient considérables (voir figures 4 B et 6 B). L'expérience montre que l'effet de cette impureté est presque aussi marqué dans le cas de NaCl que dans celui de KCl.

HgCl₂.

Royer a indiqué que les plans (001) de HgCl₂ et (110) NaCl et KCl sont quasi identiques en forme et dimensions. Dans

bleau suivant je donne les écarts des paramètres des différentes rangées.

Les plans (110) et (111) ayant la rangée $[10\bar{1}]$ commune, indique également les écarts des différentes rangées de (001) HgCl_2 et de (111) NaCl et KCl.

PLANS D'ACCOLEMENT		RANGÉES D'ACCOLEMENT		ÉCARTS
SUPPORT	DÉPÔT	SUPPORT	DÉPÔT	
(110) NaCl	(001) HgCl_2	[100]	[010]	— 5,3 %
		[10 $\bar{1}$]	[100]	— 8,2 %
(111) NaCl	(001) HgCl_2	[10 $\bar{1}$]	[100]	— 8,2 %
		[112]	[010]	+ 14 %
(110) KCl	(001) HgCl_2	[100]	[010]	+ 4,3 %
		[10 $\bar{1}$]	[100]	0 %
(111) KCl	(001) HgCl_2	[10 $\bar{1}$]	[100]	0 %
		[112]	[010]	— 20 %

glycocolle.

Le plan (100) du glycocolle possède des concordances de rangées avec les rangées [110] et [111] de NaCl

PLANS D'ACCOLEMENT		RANGÉES D'ACCOLEMENT		ÉCARTS
SUPPORT	DÉPÔT	SUPPORT	DÉPÔT	
(110) NaCl	(100) glyc.	[100]	[001]	+ 3 %
		[10 $\bar{1}$]	[010]	— 0,2 %
(111) NaCl	(100) glyc.	[10 $\bar{1}$]	[010]	— 0,2 %
		[112]	[001]	+ 20 %
(110) KCl	(100) glyc.	[100]	[001]	+ 13 %
		[10 $\bar{1}$]	[010]	+ 8 %

CHAPITRE II B

EXPÉRIENCES DE DÉCROISSANCE

On vient de voir que le faciès des cristaux dépend de de facteurs : la sursaturation qui agit sur la désolvation des faces et l'action des compagnons de croissance. Pour étudier ce dernier facteur il faut éliminer le premier, c'est-à-dire éviter la désolvation conséquence de la sursaturation. C'est ce qui a lieu lors de la dissolution d'un cristal. Donc l'étude des formes de décroissance permettrait de mettre en évidence l'action de l'impureté, la désaturation n'ayant pas d'action sur le faciès ainsi que vont le montrer les expériences.

Généralités.

Des expériences de décroissance ont déjà été faites ; bien que fort instructives on ne leur a pas attaché l'importance qu'elles méritent.

Lorsqu'on laisse décroître un cristal convexe dans sa solution légèrement désaturée on remarque que les vitesses de décroissance des différentes faces sont à peu près identiques et le produit final de la décroissance est dépourvu de formes cristallines. Ce résultat a poussé les cristallographes à dire qu'il n'existe pas de « réciprocité » entre la croissance et la décroissance cristalline. J. J. P. Valetton (1924) a montré que la dissymétrie observée s'expliquait par des considérations purement géométriques. Lors de la croissance convexe, les faces ayant des vitesses de croissance élevées disparaissent au profit des faces lentes ; dans le cas de la décroissance convexe c'est l'inverse qui se produit.

G. Friedel (1925) a montré que le phénomène symétrique de la croissance convexe est la décroissance concave. Un deuxième point capital établi par Friedel est celui de l'action des impuretés sur les formes obtenues par décroissance concave. Une cavité cylindrique dans un bloc monocristallin de NaCl fournit par décroissance uniquement la forme du cube.

la solution est pure; additionnée d'urée on obtient les faces (1). D'où le résultat fondamental : « ce n'est pas en modifiant la composition chimique ou la structure du cristal que les conditions de substances étrangères dissoutes influent sur les formes, mais uniquement en agissant sur les vitesses de croissance ».

Friedel attribuait cette action à une modification du coefficient de diffusion de la solution. Or, on sait que ce coefficient varie peu avec la teneur en urée. Aussi semble-t-il que c'est l'interaction directe de l'impureté sur certaines faces cristallines qui est responsable de ces changements de faciès. J'ai repris les expériences de décroissance concave faites par Friedel.

Montage expérimental.

Une solution légèrement désaturée arrive par un capillaire en verre I au fond de la cavité C (figure 8 B). Un deuxième capillaire II maintient le liquide à un certain niveau en aspirant l'excès de solution. Dans ces conditions on a constaté qu'il était très difficile d'obtenir des formes planes convenables. Des tourbillons énergiques au sein de la solution creusent un trou dans le cristal. Afin de les éviter, j'ai modifié le montage de Friedel comme suit : Le cristal contenant une cavité cylindrique est enrobé extérieurement de baume de Canada pour éviter sa dissolution. Il plonge dans une solution légèrement désaturée, l'ouverture de la cavité dirigée vers le bas (figure 9 B). Un capillaire I amène dans la cavité la solution à concentration convenable. Le capillaire I est alimenté par

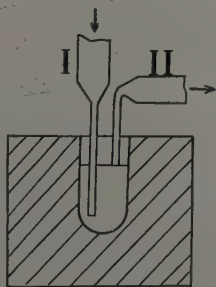


FIG. 8 B.

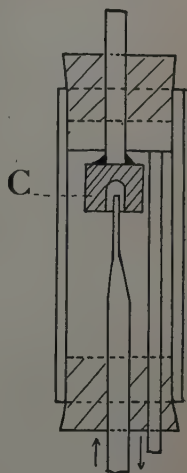


FIG. 9 B.

une cuve à niveau constant. La différence de niveau est réglée de façon à avoir toujours un régime laminaire.

Résultats.

1) Influence de la désaturation.

Par analogie avec l'étude de la croissance convexe en milieu pur en fonction de la sursaturation de la solution, j'ai effectué les expériences de décroissance en faisant varier la désaturation de la solution.

Seules les formes du cube apparaissent, même si la désaturation devient très forte (2 à 3 %). Les arêtes s'arrondissent légèrement lorsque la dissolution est trop rapide.

Les phénomènes de croissance et de décroissance ne sont donc pas symétriques quant au changement de faciès. Ce point confirme l'importance de la désolvatation des faces en fonction de la sursaturation.

2) Influence des impuretés.

J'ai repris l'étude de NaCl et KCl en présence de différentes impuretés étudiées par croissance. Les impuretés qui ont un effet très marqué sur la sursaturation limite de changement de faciès et qui stabilisent fortement la solution lors de la croissance, agissent également sur le faciès de décroissance. Elles diminuent également la vitesse de dissolution.

a) Influence de l'impureté sur la vitesse de dissolution concentrée.

Une cavité cylindrique de NaCl se dissout d'une façon appréciable lorsque la solution est désaturée d'environ 1 pour 1.000. Lorsqu'on ajoute par exemple une très faible quantité de chlorure de plomb (de l'ordre de 0,5 pour 1.000), la dissolution est pratiquement arrêtée. Ce phénomène pourrait être dû à une variation de la solubilité de NaCl en présence de $PbCl_2$, mais cet effet parasite devient négligeable lorsque l'on désature plus fortement la solution. En effet, pour atteindre une vitesse de dissolution correspondante à une désaturation de 1 pour 1.000 en milieu pur, il faut désaturer la solution

contenant 0,5 pour 1.000 de chlorure de plomb d'environ 6 pour 100. L'effet est donc très marqué. Il est bien connu que certaines impuretés ralentissent la croissance des cristaux. Marc et Wenk (1910) attribuent ce fait à une adsorption de l'impureté sur les germes cristallins.

Influence de l'impureté sur le faciès des cristaux négatifs.

D'une manière générale, toutes les impuretés dont j'ai tracé des courbes spécifiques de changement de faciès par croissance, produisent également des changements de faciès par décroissance.

$HgCl_2$ et Na_2CO_3 .

Même à très forte concentration, ces impuretés ne changent pas le faciès de NaCl aussi bien lors de la décroissance. On trouve les faces (100) mais avec des arêtes fortement arrondies.

La solution contenant quelques % d'urée produit sur un cristal de NaCl des facettes (111) peu développées par rapport à (100). Si la concentration en urée est plus forte (20 % environ), (100) disparaît et seules les faces de l'octaèdre persistent. Sur KCl l'urée n'a aucune action.

$HgCl_2$.

NaCl : on obtient les formes (100) (111). Effet très marqué pour une concentration de 0,25 pour 1.000 $CdCl_2$ (fig. 10 B).

KCl : même résultats mais pour des teneurs un peu plus faibles.

$HgCl_2$.

Aux concentrations assez élevées (10 % environ) la forme (111) se manifeste sur NaCl, de même (110) avec un très faible développement.

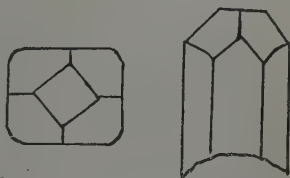


FIG. 10 B.

MnCl₂.

Le cube existe toujours avec de petites facettes (111) pour NaCl, pour KCl les facettes (111) n'apparaissent pas.

PbCl₂.

NaCl : le chlorure de plomb produit déjà à très faibles doses (inférieures à 1 pour 1.000) les formes suivantes :

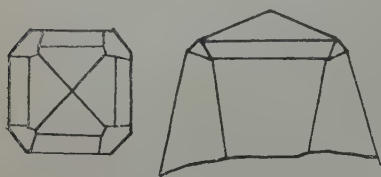


Fig. 11 B.

peu développée, (110) peu importante, et un hexaèdre dominant. Si la concentration devient encore plus forte, l'octaèdre disparaît complètement (figure 11 B).

KCl : même aux très faibles doses, bien inférieures à 1 pour 1.000, on obtient les formes (111) et (110), l'octaèdre étant dominant.

HgCl₂.

NaCl : on obtient l'association des formes (110), (100) (111) ; (110) étant dominant et (111) très peu développé.

KCl : on observe (110) et (111), les deux formes ayant développement à peu près égal.

Glycocolle.

Des concentrations s'échelonnant de quelques % à 20 % glycocolle produisent sur NaCl uniquement la forme (110) bien développée.

Crocéine brillante.

A des doses infimes, on obtient sur KCl les formes (110) (111).

**Comparaison des résultats
des expériences de décroissance concave
avec les expériences de croissance convexe.**

Certaines impuretés modifient le faciès du cristal lors de la croissance ; elles sont sans effet sur la décroissance concave si aucun des plans réticulaires du cristal n'est analogue en forme et en dimensions avec un plan réticulaire dense de l'impureté. C'est ainsi que Na_2CO_3 et MgCl_2 donnent avec NaCl la forme (111) par croissance ; par décroissance ces impuretés sont sans action.

Si une analogie entre plans du cristal et du compagnon de cristallisation existe, ce sont ces mêmes plans du cristal qui vont apparaître lors de sa décroissance concave.

C'est ainsi que les plans (111) de NaCl et de KCl sont analogues à des plans denses de ZnCl_2 , MnCl_2 , CdCl_2 , PbCl_2 , HgCl_2 et du glyocolle. Ces impuretés provoquent l'apparition des faces de l'octaèdre aussi bien lors de la croissance que de la décroissance.

Lorsqu'il existe une concordance supplémentaire entre autres plans, ces plans apparaissent également. L'importance de leur développement dépend des concordances de paramètres :

Le chlorure de plomb produit sur KCl et NaCl par décroissance (111) ainsi que (110). Les relations de paramètres (voir p. 402) déterminent l'importance des faces qui apparaissent. Par contre, la croissance fournit uniquement la forme de l'octaèdre. La raison de cette différence est justement due à la superposition des deux mécanismes de changement de faciès.

La crocène brillante donne par croissance (111) sur KCl par décroissance (111) et (110).

Lorsque les paramètres d'une impureté sont plus voisins des rangées contenues dans (110) que de (111) les faces (110) apparaissent par croissance et par décroissance ; ex. : HgCl_2 et glyocolle.

Ces observations montrent que pour connaître le mode d'action exact d'une impureté, seules les expériences de

décroissance concave sont importantes. Lors de la croissance il existe toujours une superposition des effets dus à la sursaturation et à l'impureté.

CHAPITRE III B

INTERPRÉTATION DES CHANGEMENTS DE FACIÈS EN PRÉSENCE D'IMPURETÉS

Dans le chapitre précédent on a vu que l'on devait envisager l'existence de deux mécanismes modifiant le faciès cristallin. Le premier existe seul en milieu pur, il fait intervenir la sursaturation. C'est le deuxième mécanisme qui s'ajoute au premier lors de la croissance en présence de compagnons de cristallisation que nous allons essayer de préciser maintenant.

Les impuretés présentes dans la solution ralentissent la croissance et la décroissance concave. Ce freinage pourrait s'expliquer par l'adsorption des impuretés sur les faces cristallines. Cette couche adsorbée doit provoquer une diffusion plus lente des ions de la solution vers le réseau du cristal.

Certaines impuretés provoquent un freinage préférentiel sur certaines faces (blocage). Cet effet résulte d'une adsorption préférentielle. Cette adsorption est d'autant plus prononcée que :

1) La densité superficielle de l'impureté adsorbée est plus grande. Elle est maximum si les ions ou molécules de l'impureté se distribuent comme dans un plan réticulaire de plus grande densité de son réseau cristallin. (On voit ainsi pourquoi, quelle raison interviennent les relations de paramètre à l'équilibre cristallisé anhydre.)

2) L'adhérence d'une telle couche adsorbée est d'autant plus grande que les paramètres des plans réticulaires du cristal et de l'impureté sont plus voisins. Si ces deux conditions trouvent remplies pour certaines faces, le freinage de certains plans est le plus efficace et entraîne le changement de faciès.

Les expériences de décroissance concave conduisent à apposer cette couche adsorbée mobile et ne rentrant pas dans le cristal. La condition nécessaire pour produire un changement de faciès n'est donc pas la formation de « mixtes » comme ont indiqué Gaubert, Mehmel et Nespital, Bunn et Frondel. Cependant la formation des mixtes accompagne souvent le changement de faciès par croissance surtout lorsque la solution est saturée en impureté. Ce n'est donc qu'un phénomène accessoire.

Le changement de faciès peut également être considéré du point de vue de la théorie de la croissance de Stranski (1928). Cette théorie énergétique calcule les probabilités de sédimentation des paires d'ions sur différents endroits d'une face et permet de calculer la forme finale de croissance. C'est ainsi que pour NaCl seul le plan (100) est un plan uniforme, sans arêtes, ni coins (*gleichförmige Fläche*). Les plans (110) et (111), par contre, sont formés alternativement de plans (001), (010) et (100) (*ungleichförmige Flächen*) (à rapprocher des formes de décroissance d'Haüy).

Cette théorie interprète difficilement l'action des impuretés sur le faciès. Un seul exemple a pu être expliqué jusqu'à présent. En effet, Seifert (1952) traite le problème du changement de faciès de NaCl par le glyocolle en montrant que les molécules de l'impureté peuvent s'adsorber sur les arêtes du cube de NaCl (la longueur de la chaîne du glyocolle est un multiple entier de a_0 de NaCl). Cette adsorption freine les plans (110) de NaCl et rend compte de leur développement.

Si l'on veut rester strictement dans la ligne de la théorie de Stranski, il faut traiter le problème comme le fait Seifert. Cette façon est très peu générale et elle ne permet pas d'interpréter l'action de toute cette multitude d'impuretés qui agissent sur le faciès. Le modèle géométrique, par contre, semble expliquer bien plus de phénomènes.

BIBLIOGRAPHIE B

- BUCKLEY, H. E. (1951). — *Crystal Growth*, Chapman et Hall, Lond.
- BUNN, C. W. (1933). — *Proc. Roy. Soc. A.*, 141, p. 567.
- FRIEDEL, G. (1925). — *Bull. Soc. Fr. Min.*, 48, p. 6.
- FRONDEL, G. (1940). — *Am. Min.*, 25, p. 95.
- GAUBERT, P. (1911). — *Recherches récentes sur le faciès des cristaux*, Hermann, Paris.
- GROTH, P. (1908). — *Chemische Kristallographie*, Leipzig.
- HAHN, O. (1934). — *Z. Krist.*, 87, p. 387.
- KERN, R., M. TILLMANN (1953). — *C. R. Acad. Sciences*, 236, p. 942.
- MARC, R., WENK, W. (1910). — *Z. Phys. Chem.*, 68, p. 207.
- MEHMEL, NESPITAL (1934). — *Z. Krist.*, 88, p. 345.
- NEUHAUS (1930). — *Chemie der Erde*, 5, p. 531.
- ROYER, L. (1934). — *C. R. Acad. Sc.*, 198, p. 185, 585, 949, 1869.
- SEIFERT (1952). — *Z. Elektrochemie*, 54, n° 4, p. 330.
- STRANSKI, I. N. (1928). — *Z. Phys. Chem. A*, 136, p. 259.
- SPANGENBERG, Gille (1927). — *Z. Krist.*, 65, p. 207.
- VALETON, J. J. P. (1924). — *Z. Krist.*, 60, p. 4.
-

RÉSUMÉ GÉNÉRAL

Dans ce travail j'ai pu montrer que la croissance des cristaux en milieu ionisant pur fournissait des cristaux dont le faciès dépendait de la vitesse d'évaporation du solvant. Afin d'essayer de préciser ce phénomène, j'ai étudié le rôle de la concentration des eaux-mères.

L'application d'une méthode interférentielle nouvelle m'a permis d'étudier la concentration de la solution au voisinage des cristaux en voie de croissance, de rechercher une relation entre la vitesse de croissance d'une face et cette concentration, de rectifier les travaux antérieurs sur des phénomènes de diffusion particuliers (effet Berg) et de donner une interprétation possible de la formation des dendrites.

Des mesures de l'indice de réfraction de la solution ont conduit à montrer que les changements de faciès en milieu

ur se manifestent lorsque la solution a atteint un degré de saturation bien déterminé.

L'étude de la cristallisation en milieu pur a conduit à une interprétation des changements de faciès observés : lorsque le cristal et le solvant sont susceptibles d'avoir des interactions, les changements de faciès sont dus à une désolvatation de la face cristalline à champ électrique le plus faible.

La cristallisation en présence de compagnons de cristallisation de différentes espèces a montré que les changements de faciès sont produits en grande partie par le même mécanisme qu'en milieu pur. Des expériences des décroissance concave ont permis de faire abstraction des phénomènes dus à la sur-saturation. Elles mettent en évidence que :

1) L'impureté ralentit non seulement considérablement les phénomènes de croissance, mais également ceux de la dissolution. Seul un phénomène d'adsorption peut en être la cause.

2) Un changement de faciès se produit lorsqu'une impureté adsorbe d'une façon préférentielle sur certains plans cristallographiques, bloquant ainsi leur croissance.

Ce blocage des faces est le plus prononcé lorsque l'impureté adsorbe en forment une couche aussi dense que possible, d'autre part lorsque les concordances de paramètres entre l'adsorbant et l'adsorbé sont meilleures.

3) La formation de mixtes n'est qu'un phénomène accessoire qui peut accompagner un changement de faciès et non sa cause.

Ces recherches mettent en relief la relation intime qui existe entre le cristal et son milieu. En se plaçant dans des conditions physiques aussi simples que possibles, le problème du changement de faciès a pu être mené à bien dans de nombreux cas.

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME PARTIE B

INFLUENCE DES COMPAGNONS DE CRISTALLISATION SUR LE FACIÈS DES CRISTAUX

HISTORIQUE.....	Pa
CHAPITRE I B : Expériences de croissance	
Méthode d'étude.....	
Résultats des mesures.....	
a) Changement de faciès (100) \rightarrow (111).....	
b) Changement de faciès (100) \rightarrow (110).....	
Remarques.....	
Relations paramétriques entre le cristal et l'impureté.....	
CHAPITRE II B : Expériences de décroissance	
Généralités.....	
Montage expérimental.....	
Résultats.....	
1) Influence de la désaturation.....	
2) Influence des compagnons de cristallisation.....	
a) Sur la vitesse de dissolution.....	
b) Sur le faciès des cristaux négatifs.....	
Comparaison des résultats des expériences de décroissance concave avec les expériences de croissance convexe.....	
CHAPITRE III B : Interprétation des changements de faciès en présences d'impuretés	
BIBLIOGRAPHIE B.....	
RÉSUMÉ GÉNÉRAL.....	

UTILISATION DE L'INTERFÉROMÈTRE DE M. NOMARSKI POUR LA COMPARAISON DES INDICES DES MINÉRAUX EN PLAQUES MINCES

PAR P. BORDET,

Laboratoire de Minéralogie, Institut Catholique, Paris.

Sommaire. — Jusqu'ici la détermination quantitative des indices des minéraux en plaques minces était pratiquement impossible. L'appareil présenté comble en grande partie cette lacune. Il permet de faire interférer deux rayons lumineux qui ont traversé deux milieux d'indice différent et d'en déduire le rapport de leurs indices.

La comparaison des indices des cristaux se présente alors dans des conditions analogues à la détermination des biréfringences par les méthodes classiques en lumière polarisée.

On sait que le problème posé par la mesure des indices des minéraux dans les plaques minces de roches au moyen du microscope, n'a jamais été résolu jusqu'ici de manière satisfaisante.

Les méthodes par immersion se heurtent à la difficulté qu'il y a à découvrir la plaque mince.

La méthode de Nikitin nécessite l'emploi de la platine théophrastite et les risques d'erreur sont nombreux.

Plusieurs auteurs (Jamin, 1868, Lebedef, 1930) ont réalisé des interféromètres qui permettent théoriquement de résoudre le problème, mais l'utilisation de ces appareils sur le microscope se heurtait à beaucoup de difficultés.

L'appareil récemment mis au point par M. Nomarski⁽¹⁾ lui apporte une solution élégante et permet des comparaisons d'indice entre minéraux différents, ou entre minéral et milieu de montage, dans des conditions analogues à la mesure de la biréfringence par les méthodes classiques en lumière polarisée.

⁽¹⁾ Présenté à l'Exp. de la Soc. Fr. de Physique en mai 1952.

Principe.

Le principe de cet interféromètre est le suivant : la lumière incidente polarisée est divisée en deux faisceaux cohérents par le moyen d'un prisme biréfringent ; ces deux faisceaux traversent l'un le minéral étudié, l'autre le milieu de référence dont l'indice est connu.

Un deuxième prisme biréfringent réunit les deux faisceaux qui interfèrent ; les résultats de cette interférence, rendus visibles par un analyseur, permettent de déduire la différence d'indice entre les deux milieux considérés.

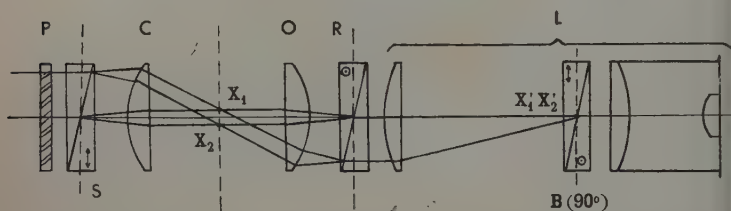


FIG. 1 — P : polariseur ; S, R : prismes biréfringents ; C : condenseur ; X : objet, X_1, X_2 : son image ; O : objectif ; L : lunette ; B : Prisme de Babinet ; A : analyseur.

L'interféromètre (fig. 1) comporte successivement un polariseur P, puis un prisme biréfringent S accolé à un prisme non biréfringent situé au foyer d'un condenseur C. De l'autre côté de l'objet X se trouve un dispositif symétrique formé d'un objectif O, un double prisme R et un analyseur A. L'image de l'objet est étudiée au moyen d'une lunette L.

La direction de Ng du premier prisme biréfringent est située dans le plan de la figure ; celle du deuxième est perpendiculaire.

Le rayon incident est polarisé à 45° par rapport au plan de la figure par le polarisateur P. Ce rayon traverse successivement le prisme de verre dont l'indice est égal à $\frac{n_e + n_o}{2}$ et n_e étant les deux indices du prisme biréfringent, puis le prisme biréfringent S lui-même.

Il se trouve alors décomposé en deux rayons divergents présentant entre eux une déviation :

$= \alpha (n_e - n_o)$ en radians (α angle du prisme biréfringent).

Ces rayons sortent du prisme, traversent le condenseur qui les rend parallèles et sont alors décalés de :

$$d = f\varepsilon \text{ (} f : \text{ focale du condenseur).}$$

Le rayon extraordinaire présente sur le rayon ordinaire un retard de : $l = e_o(n_e - n_o)$ (e_o épaisseur du prisme au point considéré).

Les deux rayons traversent l'objet en deux points différents et subissent de ce fait des retards différents qui se traduisent généralement par une différence δ des chemins optiques.

Les rayons sont recomposés par le deuxième prisme biréfringent R, dont l'axe N_y est perpendiculaire à celui de S.

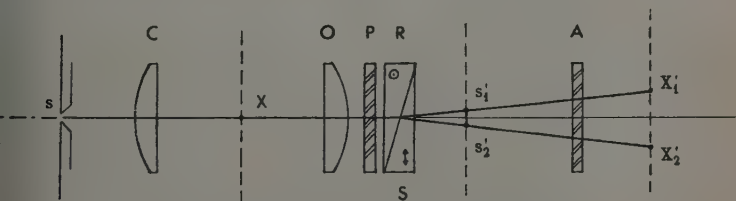


Fig. 2. — s : fente source, $s_1' - s_2'$: ses images; C : condenseur; X objet, X_1', X_2' : ses images; O : objectif; P : polaroïde; R S : prismes biréfringents accolés; A : analyseur.

Les deux prismes ayant la même épaisseur, le retard l se trouve exactement compensé, mais la différence δ due à la présence de l'objet subsiste. Elle est rendue visible et mesurable par l'analyseur A, qui peut être placé soit parallèlement, soit perpendiculairement au polariseur. En effet, conformément à l'expérience d'Arago, les deux rayons e et o obtenus par décomposition du rayon incident sortant de P, donnent des interférences visibles si l'analyseur A ne retient que leurs composantes parallèles ou anti-parallèles.

Mais, dans ces conditions, l'objet se trouve situé entre le polariseur et l'analyseur : il peut donc présenter des couleurs

d'interférence dues à sa propre biréfringence ; celles-ci compliquent l'interprétation des phénomènes. Il y a avantage à éviter ce fait, c'est-à-dire à placer l'analyseur et le polariseur du même côté de l'objet. On y parvient en renonçant à une large ouverture du faisceau d'éclairage : on place une fente étroite au foyer condenseur qui joue ainsi le rôle d'un condenseur fournissant à l'objet un éclairage cohérent ⁽¹⁾ (fig. 1).

Le prisme déviateur R est compensé par un autre prisme biréfringent identique S', mais dont l'axe *ng* est perpendiculaire à celui de R. On peut aussi remplacer S', par une simple lame plane d'épaisseur égale à celle de R en son centre, placée n'importe où entre le polariseur et l'analyseur.

Un tel montage fonctionne de la même manière que celui qui a été précédemment décrit.

Mesure du retard dû à la présence de l'objet.

La double déviation due au prisme R a pour effet de donner deux images du même objet, distantes l'une par rapport à l'autre de :

$D = L\varepsilon$ (*L*, longueur du tube ou distance focale de la lunette associée).

Dans les parties où l'image de l'un des deux milieux étudiés est superposée à elle-même, il y a compensation exacte des retards et aucun phénomène d'interférence ne se produit. Par contre, dans les parties où l'image d'un des milieux est superposée à celle de l'autre, le retard optique est donné par la formule :

$$\delta = e(n_1 - n_2)$$

e, épaisseur des milieux-objets en présence, *n*₁, indice du premier milieu, *n*₂, épaisseur du deuxième milieu.

1° Dans le cas de valeurs très faibles de δ , on peut utiliser la méthode dite de la « teinte plate », c'est-à-dire se servir des couleurs primaires d'interférence ; dans ce cas, le retard se mesure de la même manière que les retards dus à la biréfringence d'un minéral étudié entre nicols croisés ou parallèles.

(1) Voir aussi FRANÇON, *C. R. Ac. Sc.*, t. 233, p. 1176, 12-XI-1951.

2° Dans le cas où δ est égal ou supérieur à $\frac{\lambda}{2}$, il est plus commode de mesurer le décalage d'un système de franges d'interférence. Pour cela, il suffit de placer entre le polariseur et l'analyseur un prisme de Babinet B optiquement congru avec l'objet et donnant un système de franges localisées dans le champ observé (fig. 1).

Ces franges sont rectilignes ; elles ne sont pas décalées dans les parties où l'image d'un milieu est superposée à elle-même ; elles sont décalées dans les parties où l'image d'un milieu est superposée à celle d'un autre, et le décalage est proportionnel au retard, c'est-à-dire à :

$$\delta = e(n_1 - n_2).$$

Le décalage se fait, soit dans un sens, soit dans l'autre, suivant que le milieu traversé par le rayon « e » du prisme biréfringent, a un indice plus fort ou plus faible que celui traversé par « o ». On mesure au micromètre, soit l'écart entre les franges non décalées et un système de franges décalées, soit l'écart entre les deux systèmes de franges décalées en sens inverse, ce qui double la sensibilité de la mesure. La frange centrale est blanche si l'on travaille en nicols parallèles, noire dans le cas contraire.

L'orientation des franges peut être quelconque. La plus commode pour la mesure est celle des franges perpendiculaires aux bords rectilignes et dédoublés limitant l'objet.

3° Mais on peut obtenir plus simplement un système de franges perpendiculaires au sens de dédoublement de l'image : il suffit pour cela d'écarter le prisme biréfringent R du foyer de l'objectif O (fig. 2). Le dédoublement des images ne s'en trouve pas modifié, mais l'image pupillaire de la fente source se trouve dédoublée. Les deux images $s^{1'}$, $s^{2'}$ jouent alors le rôle de sources cohérentes et donnent un phénomène analogue aux franges d'Young dans le plan image. Les franges ainsi obtenues ne sont pas localisées et l'on peut en modifier l'écartement en déplaçant le prisme biréfringent par rapport au foyer de l'objectif.

De ce fait, on dispose d'un appareil à sensibilité variable mais la disposition des franges est moins commode que dans le cas précédent.

Utilisation pratique de ces dispositifs.

Ces deux dispositifs peuvent être réalisés chacun de deux manières différentes : soit en montage oculaire, que l'on substitue à l'oculaire habituel du microscope, soit en montage objectif.

Tous les grossissements peuvent être réalisés.

La valeur du dédoublement des images dépend du prisme utilisé. L'écartement des franges est variable ou fixe suivant le type du montage.

Par suite de la biréfringence des minéraux, la comparaison des indices de deux cristaux voisins se heurte aux difficultés que l'on sait; elle n'est réalisable que lorsqu'un des deux minéraux présente une biréfringence faible, ou que les directions privilégiées des deux sections sont parallèles.

Par contre, la comparaison entre les indices d'un minéral et celui du milieu de montage est très facile. Dans la pratique il est nécessaire d'utiliser des préparations montées sur lames à faces parallèles et non pas sur verre dépoli comme on le fait souvent, car le dépoli perturbe la formation des franges d'interférence (sauf aux très faibles grossissements).

Il peut être avantageux de faire éclater la lame mince de roche en appuyant sur le couvre-objet après chauffage; dans ce cas, les mesures pourront se faire facilement le long de fissures remplies par le baume.

Il faut avoir soin d'orienter la section étudiée de manière que ses directions privilégiées soient parallèles et perpendiculaires à la direction de polarisation de l'interféromètre; dans ces conditions, on ne mesure qu'un seul indice de la section; l'autre indice est ensuite mesuré en tournant de 90° , soit le minéral, soit le polariseur.

Une première difficulté provient du fait que l'on ignore généralement l'indice du milieu de montage; il est possible de le déterminer avec une bonne précision en le comparant, se

l'indice constant d'un minéral uniaxe connu (quartz, calcite), soit plus facilement en plaçant dans la préparation un petit fragment de lamelle couvre-objet d'épaisseur et d'indice connus.

Mais la difficulté principale provient du fait que l'on ignore généralement l'épaisseur exacte de la lame cristalline étudiée. Le problème se présente exactement dans les mêmes conditions pour la mesure de la biréfringence.

On peut apprécier cette épaisseur par la méthode du *duc de Chaulnes* : la précision des résultats ainsi obtenus dépasse rarement 5 %. On peut également apprécier l'épaisseur à partir des couleurs de biréfringence de minéraux connus observés dans des directions optiques définies ; mais l'épaisseur de tous les minéraux d'une lame mince est rarement constante.

De ce fait, la précision obtenue par cette méthode dépasse rarement la troisième décimale de l'indice.

Par contre, s'il est possible d'isoler un fragment de cristal prélevé sur la plaque mince, on peut le comparer successivement à deux milieux de montage d'indice connu (liquides d'indice) ; on en déduit deux équations à deux inconnues (l'épaisseur du minéral et son indice) entre lesquelles on élimine l'épaisseur.

La précision alors obtenue est très grande et peut atteindre une unité de la cinquième décimale de l'indice. Elle est donc supérieure à celle donnée par les méthodes d'immersion couramment employées.

La comparaison des indices des grains de minéraux n'est réalisable que si ceux-ci présentent une épaisseur constante sur une partie de leur surface ; ceci se produit d'ordinaire avec les minéraux présentant au moins un clivage facile.

On voit que ces mesures interférométriques d'indice présentent un degré de précision au moins égal aux mesures classiques de biréfringence en lumière polarisée, mais ici les mesures peuvent être faites en lumière naturelle. On possède, donc, un intéressant moyen de recoupement qui doit augmenter la facilité et la précision des recherches.

DONNÉES NOUVELLES SUR LES SÉLÉNITES ET SÉLÉNIATES NATURELS

PAR J. GONI ET C. GUILLEMIN,
Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Sommaire. — Dans cette note, les auteurs fournissent quelques données nouvelles sur ces rares espèces minérales ; ils montrent l'existence d'un séléniate de plomb $\text{SeO}_4 \cdot \text{Pb}$, en plus de la chalcocélestite $\text{CuSeO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, de la molybdosélénite (sélénite de plomb), et de l'ahlfeldite (sélénite de nickel hydraté).

L'étude de ces espèces est rendue difficile par des descriptions originales souvent succinctes, ne permettant pas de déterminations précises.

Historique.

La *chalcocélestite* $\text{CuSeO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, décrite par Des Cloizeau et Damour (1881), est relativement fréquente dans les gîtes de sélénifères cuprifères. Ce minéral, étudié en détail par Palache (1937), est parfaitement connu actuellement.

La *kersténite*, considérée comme un sélénite de plomb, fut décrite par Von Kersten (1839) d'une manière très incomplète : agrégat cristallin à structure fibreuse, de couleur jaune, d'éclat cireux, de dureté 3,5, donnant au chalumeau les réactions de l'anhydride sélénieux et du plomb. Ce minéral se trouvait sur la zorgite (mélange de clausthalite PbSe et d'umangite Cu_2Se_3) à la mine Friedrichsglück, Hildburghausen, Thuringe. Hintze (1930) pense qu'il pourrait s'agir d'un séléniate, idée reprise par Strunz (1941).

La *molybdosélénite*, considérée elle aussi comme un sélénite de plomb, est due à Bertrand (1882). Elle se présente en lamelles minces, d'éclat nacré, de couleur blanche, possédant deux clivages. Biaxe positif, elle donne au chalumeau, les réactions du sélénium et du plomb. Le minéral se trouve sur l'umangite des gîtes de Cerro de Cacheuta, Mendoza, Argentine.

Dans la même note, Bertrand décrit la *cobaltoménite*, en cristaux roses, probablement monocliniques, biaxe négatif, qu'il considère sans essai chimique comme un sélénite de cobalt.

En 1933, Herzenberg décrit un sélénite de nickel, qu'il nomme *ahlfeldite*, ce minéral provient du gîte d'argent de Iliaca, Pacajake, près de Colquechaca, Bolivie, où il accompagne différents minéraux provenant de l'oxydation de la roseite (Ni, Cu, Pb) Se_2 et de l'umangite. L'ahlfeldite se présente en cristaux roses, probablement tricliniques dont l'analyse qualitative est fournie.

Palache, décrivant la chalcoménite du même gisement (1937), pense que l'ahlfeldite est un sélénite de cobalt qu'il rapporte à la cobaltoménite.

Ahlfeld (1938) cite, à Iliaca, la molybdoménite (aucune description n'en est fournie) et des aiguilles blanches, très fines, qu'il considère comme étant la sélénolite SeO_2 (il cite une communication personnelle de Palache qui n'a trouvé à ce minéral aucun des caractères optiques de l'anhydride séléneux artificiel).

En 1943, Ahlfeld et Reyes considèrent l'ahlfeldite comme étant bien un sélénite hydraté de nickel.

Nous avons tenté dans cette courte étude de clarifier un peu le problème et d'apporter quelques précisions pouvant servir à des travaux ultérieurs sur ces minéraux. Nous ne disposons malheureusement que de quelques milligrammes de ces espèces, ce qui nous a empêché d'effectuer les analyses quantitatives.

Nous considérons en plus de la chalcoménite, l'existence des espèces suivantes :

SÉLÉNIATE DE PLOMB SeO_4Pb .

Orthorhombique.

Faciès.

A Pacajaké, le minéral se présente en prismes orthorhombiques avec les faces de l'octaèdre, allongés suivant (001) ($1/4$ de mm. de longueur) ou en cristaux aciculaires, de 1 mm.

de longueur sur $1/40$ de mm. de largeur (fig. 1). Incolore blanc. Transparent à translucide. Éclat gras.

A Cerro de Cacheuta, le séléniate de plomb se trouve sous forme d'octaèdres orthorhombiques, allongés suivant OC atteignant 1 mm., certains cristaux sont polysynthétiques de couleur jaune verdâtre, faiblement translucides, avec éclat gras.

Propriétés physiques.

Clivage imparfait, perpendiculaire à l'allongement. α réfracté : 3,5.

Biaxe négatif. Extinction droite. Signe d'allongement positif. L'angle $2V$ est proche de 50° .

Indices de réfraction : $n_p = 1,96$, $n_g = 1,98$.

Propriétés chimiques.

L'analyse qualitative montre que l'on est en présence d'un séléniate de plomb. Le minéral est difficilement soluble dans l'acide nitrique 1/1 à chaud. La solution donne les réactions du plomb et du sélénium. Au tube fermé, le minéral fond facilement, en formant un sublimé blanc sur les parois du tube.

Étude aux rayons X.

Les diagrammes de poudre du séléniate naturel et du séléniate de plomb artificiel (SeO_4Pb) sont identiques et étroitement apparentés au diagramme fourni par l'anglesite (tab. I).

Gisements.

Le minéral se trouve à Pacajaké, Bolivie, c'est sans doute le minéral considéré comme sélénolite par Ahlfeld (spécimen n° 630-53. Laboratoire de Minéralogie. Sorbonne).

Il forme une petite partie des échantillons nommés molybdoménite et provenant de Cerro de Cacheuta, Argentine (spécimen n° 104-1214. Muséum national d'Histoire naturelle).



FIG. 1. — Cristal aciculaire de séléniate de plomb naturel, provenant de Pacajaké. Bolivie. ($\times 200$).



Il est impossible de donner un nom à ce minéral, tant que la nature exacte de la kersténite restera inconnue. Nous l'avons pu nous procurer un échantillon de ce minéral.

MOLYBDOMÉNITE. Sélénite de plomb.

Orthorhombique (?).

Faciès.

A Cerro de Cacheuta, le minéral se présente en lamelles platies, à contours arrondis, atteignant 1/2 mm. Couleur blanc-jaune. Translucide. Éclat nacré.

A Trogtal, Hartz, la molybdoménite forme des cristaux aplatis, ressemblant à la cérusite, les individus sont striés parallèlement à l'allongement. Blancs, translucides, ils atteignent 2/3 de mm. On trouve aussi des cristaux mal formés, brunâtres, à éclat très gras, dont la taille dépasse le millimètre.

Propriétés physiques.

Un clivage parfait parallèle à l'aplatissement, un clivage peu distinct, perpendiculaire au premier.

Dureté : 3,5. Biaxe négatif. Extinction droite. Signe d'allongement positif. L'angle $2V$ est proche de 80° .

Les indices sont : $n_p = 2,12$, $n_g = 2,14$.

Propriétés chimiques.

L'analyse qualitative montre que la molybdoménite est un sélénite de plomb ; le minéral est soluble à froid dans l'acide nitrique 1/10 ; au tube fermé, il fond et donne un sublimé blanc.

Étude aux rayons X.

Le diagramme de poudre est nettement différent de celui donné par le sélénite de plomb artificiel (SeO_3Pb) (tab. I). Il faut signaler l'existence de sélénites basiques de plomb, fabriqués artificiellement.

Gisements.

Le minéral se trouve à Cerro de Cacheuta, ou assez répandu il forme parfois avec la chalcocénite, des croûtes d'aspect micacé, nous l'avons aussi reconnu sur un échantillon provenant de Trogtal, Lautertal, Hartz.

Le nom de molybdoménite est conservé, cette étude ayant été faite en partie sur un spécimen original de Bertram (n° 99.561. Muséum national d'Histoire naturelle).

AHLFELDITE. Sélénite de nickel hydraté.

Faciès.

Petits cristaux, d'aspect monoclinique, dont la taille varie entre $1/5$ et $1/3$ de mm. Couleur rose, parfois légèrement brunâtre (n°s 124 et 163. Code Universel des Couleurs de Séguy). Poussière incolore. Transparent à translucide avec parfois un noyau opaque de teinte plus claire. Éclat vitreux.

Propriétés physiques.

Pas de clivage. Cassure conchoïdale. Fragile. Dureté : 2, Densité : $3,4 \pm 0,05$. Biaxe négatif, extinction oblique de 16° . Fortement pléochroïque : brun vert suivant n_g , vert pâle suivant n_m , rose suivant n_p .

L'angle des axes est proche de 80° .

Les indices sont : $n_p = 1,73$, $n_g = 1,76$.

Propriétés chimiques.

Facilement soluble dans l'acide nitrique dilué. C'est un sélénite de nickel hydraté, contenant une faible proportion de cobalt; en effet, le test microchimique avec le réactif de Montéqui, donne rapidement un fort précipité de thiocyanate double de nickel et de mercure, alors que les cristaux bleus caractéristiques du composé cobaltifère n'apparaissent en très

etit nombre qu'après complète dessiccation, ce qui correspond une proportion d'environ 1 % de cobalt.

La distinction entre sélénites et séléniates a été faite en utilisant 2 réactions :

1° La réaction au nitrate d'argent (Chamot et Mason, 1948).

Les sélénites en milieu nitrique au 1/10 donnent avec un fragment de nitrate d'argent, des formations cristallines, paques, semblables à des coraux, qui se transforment lentement en cristaux aciculaires.

Dans les mêmes conditions, les séléniates donnent de petits cristaux losangiques très brillants, n'évoluant pas en aiguilles.

2° Nous avons trouvé **une autre réaction**, mettant en jeu la forte différence de solubilité, qui existe entre le sélénite et le séléniate de plomb ; nous opérons de la façon suivante :

Dissoudre 1/2 mm³ du produit à essayer dans une goutte d'acide nitrique au 1/2 ; porter doucement à sec. Ajouter au résidu une goutte d'acide nitrique au 1/10 et une goutte de solution saturée de nitrate de plomb. Les séléniates donnent immédiatement un précipité formé de très petits cristaux brillants, losangiques, évoluant vers une forme aciculaire.

Les sélénites ne donnent pas de précipité.

Gisement.

Nous n'avons trouvé l'ahlfeldite que sur la penroseite de Pacajaké, Bolivie.

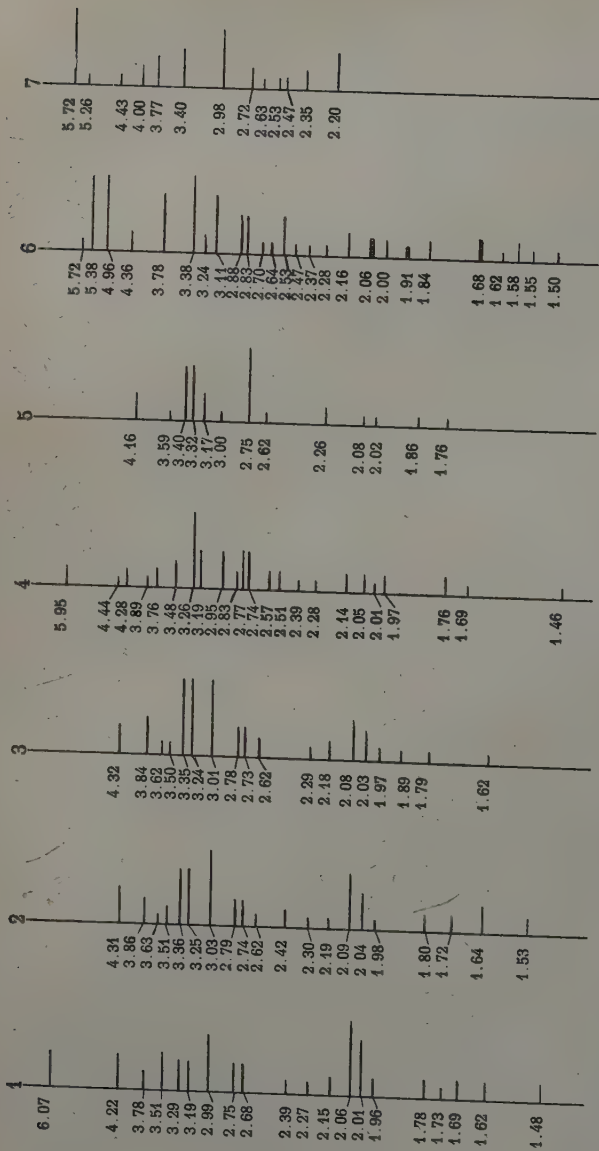
Conclusion.

L'existence de la cobaltoménite est pour le moins douteuse, les données fournies par Bertrand au sujet de cette espèce pouvant parfaitement s'appliquer à l'ahlfeldite, cependant la question reste en suspens, l'échantillon original décrit par Bertrand, étant introuvable (Ahlfeld et Reyes, 1943).

Nous terminerons en donnant un aperçu de la **paragenèse** de ces espèces. A Pacajaké, les minéraux secondaires se trouvent dans la limonite qui accompagne les divers sélé-

TABLEAU I

Dépouillement des spectres de Debye-Scherrer ($\text{CuK}\alpha$).



1 : Anglésite. Monte-Poni, Sardaigne. — 2 : Séléniate de plomb artificiel (SeO_4Pb). — 3 : Séléniate de plomb naturel. Cerro de Cacheuta. Argentine (104.1214. Museum). — 4 : Sélénite de plomb artificiel (SeO_3Pb). —

ures et surtout la penroseite, l'ordre de leur apparition est le suivant :

Anglésite — cérusite — séléniate de plomb — chalcocite et ahlfeldite.

L'anglésite se présente en cristaux de quelques millimètres, transformé superficiellement en cérusite. L'antériorité du séléniate de plomb vis-à-vis de l'ahlfeldite est particulièrement nette, certains cristaux d'ahlfeldite s'étant formés autour d'une aiguille de séléniate de plomb.

A Cerro de Cacheuta, il est seulement possible d'affirmer l'antériorité de la molybdoménite sur la chalcocite ; dans le gîte, les sélénites se forment directement au contact des sélénures.

Nous remercions le Muséum national d'Histoire naturelle, l'École Nationale supérieure des Mines de Paris et M. le colonel L. Vésignié pour les échantillons qui nous ont été aimablement prêtés.

BIBLIOGRAPHIE

- AHNFELD, F. et REYES, J. M. (1938). — *Mineralogie von Bolivien*, Berlin.
— (1943). — *Los Minerales de Bolivia*, 2^e édition, La Paz.
AHNFELD, F. et ANGELELLI, V. (1948). — *Las especies minerales de la Republica Argentina*, Jujuy.
BERTRAND, E. (1882). — *Bull. Soc. franç. Minér.*, 5, 90.
DES CLOIZEAUX et DAMOUR, A. (1881). — *Bull. Soc. franç. Minér.*, 4, 51, 164.
FRIEDEL, G. et SARASIN, E. (1881, a). — *Bull. Soc. franç. Minér.*, 4, 176.
— (1881, b). — *Bull. Soc. franç. Minér.*, 4, 225.
HERZENBERG, R. (1935). — *ZBl. Miner.*, 189.
— (1944). — *Bol. acad. Nacion. Cienc.*
— (1945). — *Miner. Boliviana*, 2, n^o 25.
KUNTZE (1930). — *Mineralogie*, 1, 3^e Abt., 2^o Hälfte, 4007.
KUNSTEN (1839). — *Ann. Phys.*, Dtsch., 46, 277.
KUNZ, H. (1941). — *Mineralogische Tabellen*, Leipzig.
-

LA HÖGBOMITE DE FRAIN (TCHÉCOSLOVAQUIE)

PAR M^{me} CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY,

Laboratoire de Minéralogie, Sorbonne,

ET A. SANDRÉA,

Laboratoire de Minéralogie du Muséum.

Sommaire. — Dans une ariégite de Frain, on a observé un minéral ayant les caractères de la högbomite, formé au contact de pléonaste et d'ilménite. L'examen aux rayons X indique une maille quadratique.

On peut considérer que la högbomite $(\text{Fe}, \text{Mg})_6(\text{Al}, \text{Fe})(\text{Ti})\text{O}_{32}$ est très voisine d'un spinelle dont la maille serait modifiée par suite de la pénétration de titane, 1 Ti remplaçant 2(Mg, Fe). Elle paraît se former à partir de plusieurs types de spinelles ferro-alumineux, alumino-magnésiens, ferro-alumino-magnésiens, etc... Les analyses du mémoire de Mole et Myasnikov (1952) indiquent même que sa formation peut se réaliser en milieu chromifère ou zincifère. Il existerait donc un assez grand nombre de types de högbomites, qui dépendraient vraisemblablement du spinelle qui leur a donné naissance.

G. Friedmann (1952) a donné un tableau résumant les propriétés optiques des diverses högbomites étudiées. Les caractères essentiels restent très voisins :

$$n_g = 1,84 - 1,85 \text{ (brun, doré, olivâtre),}$$

$$n_p = 1,80 - 1,82 \text{ (jaune, brun),}$$

$$n_g - n_p \text{ de } 0,03 \text{ à } 0,048,$$

uniaxe positif,

$$\text{absorption : } n_g < n_p.$$

En révisant la série des roches basiques de la collection Muséum, nous avons remarqué une péridotite-pyroxénolite provenant de Windschau près de Frain-sur-Thaya en Moravie Méridionale qui renferme en moyenne 40 % d'augite titifère.

ère, 40 % d'olivine et 20 % de spinelles et minéraux
 aqués. La partie silicatée présente les pseudomorphoses
 multiples des roches ultrabasiques non alcalines : serpentine,
 stite, amphibole secondaire, druses remplies de carbonates
 calcédoine sphérolitiques, céladonite... Le spinelle, du
 éonaste, est disposé en plages irrégulières de 1/2 à 1 mm.
 diamètre, traversé de cassures ; il voisine souvent avec
 s grains de magnétite. On rencontre dans les zones riches
 spinelle, de gros grains opaques, arrondis, qui, examinés
 lumière réfléchie polarisée, ont montré les caractères de
 ménite, ce qui ferait considérer la magnétite associée
 mme également titanifère. Le pléonaste n'est qu'en partie
 rapide ; la plupart des cristaux sont obscurcis par des traî-
 es parallèles d'inclusions opaques (fig. 1) de 1 à 3 microns
 diamètre, ne laissant libres que les bords des grains. La
 ture de ces inclusions n'est pas déterminée : l'analyse
 ectrale d'un grain de spinelle isolé au microscope a montré
 s teneurs importantes en Fe, Al, Mg, Ti ainsi que de
 bles teneurs ($\leq 2\%$) en Mn, sans qu'il soit possible de pré-
 ter si les micro-inclusions sont de l'ilménite, de la titano-
 gnétite ou une autre variété chimique apparentée.
 On remarque des grains de spinelle dont la bordure voisi-
 nt avec les minerais opaques, ou des zones bordant des
 ssures sont colorées en brun. Ces zones brunes sont poly-
 roïques et biréfringentes :

$$\begin{array}{l} n_g \text{ brun foncé olive} > n \text{ pléonaste} \\ n_p \text{ brun jaune} \leq \text{''} \end{array}$$

s sections isotropes ont montré des figures de lumière con-
 gente uniaxes positives ; la biréfringence est de l'ordre de
 0.3. Le minéral est inégalement développé : parfois il
 aque à peine un bord du spinelle, le plus souvent, il gagne
 térieur du cristal, n'en laissant subsister que des îlots
 (fig. 2).

Ces caractères correspondent à ceux de la högbomite. L'un
 nous a obtenu un diagramme de rayons X à partir d'un
 stal extrait de la plaque mince et écrasé ; ce diagramme de

poudre a permis de calculer les paramètres. La maille quadratique $a = 8,34 \pm 0,02 \text{ \AA}$, $c = 7,96 \pm 0,02 \text{ \AA}$, voisine de la maille cubique du pléonaste ($a = 8,08 \text{ \AA}$).

I	d mesuré	h	k	l	d calculé
f	4,6	1	1	1	4,7
f	4,17	2	0	0	4,17
>f	2,87	2	0	2	2,879
f	2,74	2	1	2	2,722
f	2,498	3	1	1	2,503
i	2,429	1	1	3	2,420
f	2,085	4	0	0	2,085
tf	2,032	4	1	0	2,023
f	1,987	2	2	3	1,985
tf	1,631	5	0	1	1,632
f	1,574	3	3	3	1,579
f	1,555	5	2	0	1,549
tf	1,517	5	2	1	1,520
ai	1,432	4	0	4	1,439
tf	1,240	6	2	2	1,246

Il nous a semblé intéressant de signaler la présence h  gbomite dans l'ariégite de Frain ; ce gisement semble rapprocher du type de Rutevaare décrit par Gavelin (1916) en effet, nous sommes en présence d'une formation de h  gbomite à partir d'un spinelle, par adjonction de titane, dans un milieu ultra-basique ; la plupart des autres gisements réalisent une formation en milieu hyper-alumineux.

BIBLIOGRAPHIE

- CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY, M^{me} M. (1953). — *Bull. Soc. franc. M  t. Crist.*, 76.
- FRIEDMANN, G. (1952). — *Amer. Miner.*, 37, 600.
- GAVELIN, A. (1916). — *Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala*, 15, 289.
- GILSON, J. L. et KANIA, J. E. A. (1930). — *Econ. Geol.*, U. S. A., 518.

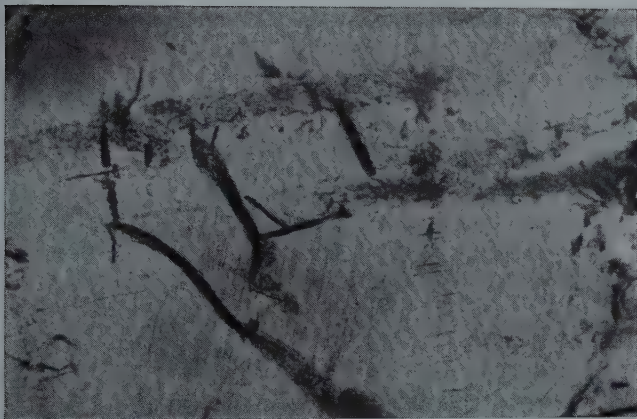


FIG. 1. — Inclusions ferro-titanées dans pléonaste.
Lumière naturelle $\times 230$. — Immersion eau.

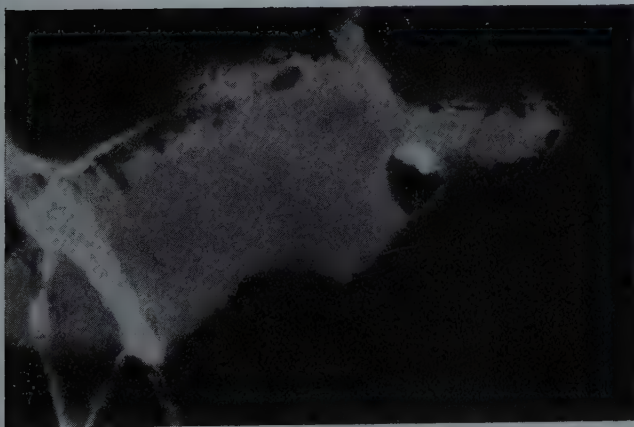


FIG. 2. — Cristal de Högbomite parallèle à l'axe dans pléonaste.
Lumière polarisée (U. V.) $\times 380$. — Immersion glycérine.



- APPARENT, J. DE (1935). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 201, 154.
APPARENT, J. DE (1946). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 223, 227.
BOLEVA, V. A et MYASNIKOV, V. J. (1952). — *Dokl. Akad. Sc.*, S. S. S. R.,
83, 733.
EEL, H. L. (1949). — *S. Afr. Geol. Surv. Mem.*, 43, 1.
ENAY, T. S. (1949). — *Bull. Suisse Minér. Pétr.*, 29, 387.
FALLACHÉ, C., BERMAN, H. et FRONDEL, C. (1946). — *System of Mineralogy*, 1, 723, 7^e édition, John Wiley, New-York,
ANDRÉA, A. (1950). — *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 230, 2306.
WATSON, T. L. (1925). — *Amer. Miner.*, 10, 1.
-

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA STRUCTURE DES HALLOYSITES ET ESSAIS DE SYNTHÈSE

PAR M. KARŠULIN ET V. STUBIČAN,
Université de Zagreb.

Sommaire. — On a pu obtenir des particules d'halloysite par précipitation à partir d'un mélange d'aluminate et silicate de soude, en proportions convenables. La formation du précipité est favorisée par l'introduction d'une faible quantité d'halloysite naturelle. Le corps obtenu est étudié par l'analyse thermique différentielle et contrôlé au microscope électronique. Les résultats sont discutés.

En nous basant sur les publications de Schwarz et Brenneke (1923), nous avons essayé d'obtenir la précipitation de l'halloysite à partir des solutions aqueuses d'aluminate et de silicate de soude (1951).

Dans ce but nous avons introduit de l'halloysite naturelle (Macédoine F. R. N. de Yougoslavie) en faible quantité (de 5 % à 1 %) dans le mélange des solutions réagissantes. Les proportions $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ sont 1/6 et le pH contrôlé est de 5.

La précipitation s'opère en deux étapes. Le premier produit recueilli observé aux rayons X montre le diagramme de l'halloysite. Le second produit reste amorphe.

Par dessiccation à 110° C le premier précipité conduit au diagramme de la métahalloysite.

Il semble donc qu'il faille conclure à la synthèse de l'halloysite par précipitation après inoculation dans le système décrit plus haut. L'analyse chimique de l'halloysite synthétique montre un surplus de 2,3 à 2,6 molécules d'acide silicique.

L'analyse thermique différentielle des préparations d'halloysite synthétique (fig. 1, trait plein) montre le premier maximum endothermique de déshydratation autour de 135° C.

Il nous a cependant été impossible d'observer le deuxième maximum autour de 540°C , caractéristique de l'halloysite naturelle. Nous avons attribué (1951) cette particularité de

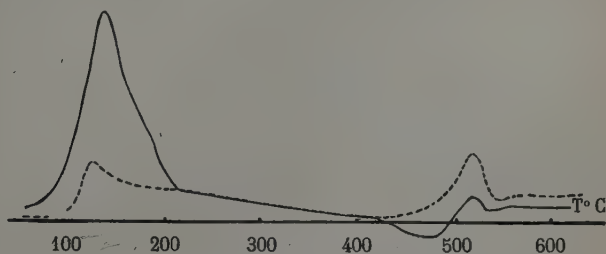


FIG. 1. — Courbes d'analyse thermique différentielle de l'halloysite synthétique.

— sans traitement
 --- après traitement par Co_3Na_2 .

l'halloysite synthétique à la présence de la silice amorphe compensant par une réaction exothermique l'effet endothermique de déshydratation observé à 540°C .

Pour vérifier cette hypothèse nous avons enregistré la

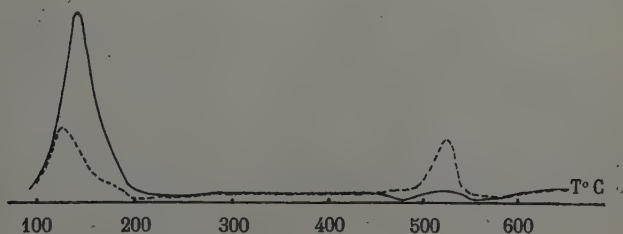


FIG. 2. — Courbes d'analyse thermique différentielle d'un mélange d'halloysite naturelle et d'un gel de silice.

— sans traitement,
 --- après traitement par CO_3Na_2 .

courbe thermique d'un mélange d'halloysite naturelle et d'un gel de silice de rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 1/4$. Le résultat obtenu (fig. 2, trait plein) montre l'absence du crochet endothermique de 540°C . Si on enlève la silice amorphe par traitement au carbonate de soude à chaud, la nouvelle courbe thermique (fig. 2, trait pointillé) montre nettement le second maximum.

Il faut remarquer le déplacement vers les températures inférieures du premier maximum à 135°C . Ce fait n'est pas encore expliqué.

Nous avons alors tenté d'enlever la silice amorphe contenue dans l'halloysite synthétique par traitement au carbonate de soude à chaud. La courbe thermique obtenue après cette opération (fig. 1, trait pointillé) montre l'existence du second maximum à 540°C ; ce maximum correspond bien à celui de l'halloysite naturelle sans silice.

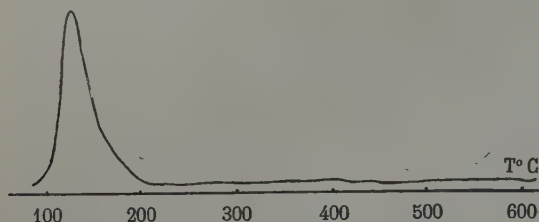


FIG. 3. — Courbe d'analyse thermique différentielle d'un gel de silice.

Enfin, nous avons enregistré la courbe thermique d'un gel de silice isolé. Cette courbe ne montre qu'un maximum (fig. 3) autour de 125°C . Ce maximum correspond à l'élimination de l'eau adsorbée.

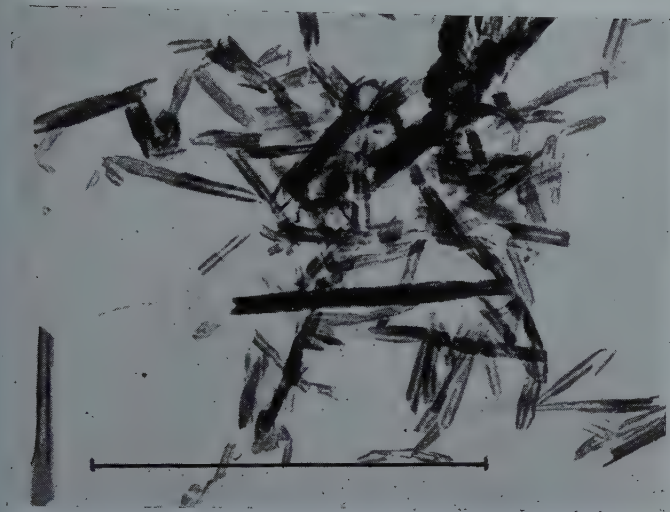
Ceci explique d'ailleurs la diminution des pics des premiers maxima lorsqu'on passe (fig. 1 et 2) des halloysites contenant SiO_2 aux halloysites pures, car normalement le premier maximum à 135°C est relativement faible dans l'halloysite.

Les clichés de microscopie électronique des différents produits étudiés ont été faits par A. Mathieu-Sicaud au Laboratoire Central des Services Chimiques.

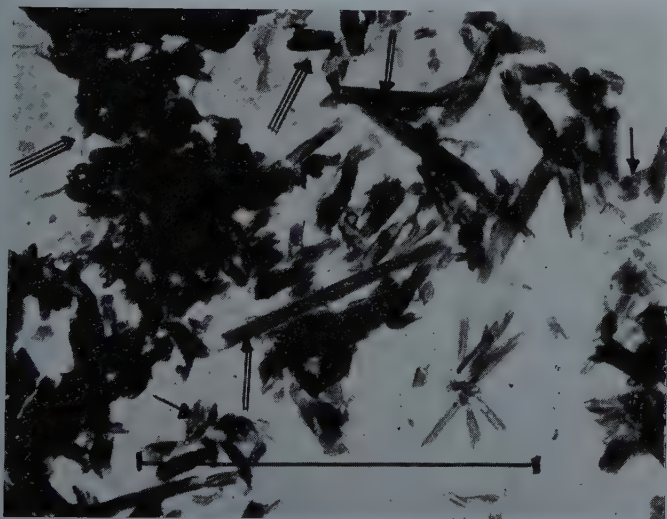
1) *Halloysite naturelle* (provenance Macédoine). Le minerai a été dispersé par traitement au ClNa et lavé par centrifugation. Le cliché 1 (planche I) montre des particules tubulaires caractéristiques de l'halloysite.

2) *Halloysite synthétique*. La substance résiste à tous les procédés ordinaires de dispersion et montre des agrégats

Examens au microscope électronique.



CLICHÉ 1. — Halloysite naturelle.



CLICHÉ 2. — Halloysite synthétique.



païs au sein desquels on distingue difficilement les particules solées.

Nous avons pensé que cette difficulté provenait d'un excès de silice amorphe et nous avons tenté de dissoudre cette silice par un traitement dispersif dans la soude diluée et à chaud. Dans ce cas la dispersion s'améliore mais reste incomplète. Le cliché 2 (planche I) montre les résultats obtenus. L'ensemble des tubes visibles en dehors des agrégats sont plus courts et d'un diamètre légèrement supérieur à la normale (flèches sur le cliché).

On peut observer quelques tubes longs appartenant peut-être à l'halloysite d'insémination (flèches doubles sur le cliché).

Dans les agrégats on peut noter quelques filaments fins qui semblent relier les particules comme un filet (flèches triples sur le cliché).

BIBLIOGRAPHIE

- PARŠULIN, M. et ŠTUBIČAN, V. (1951). — *Kolloid-Z.*, Dtsch., 127, 169.
SCHWARZ, R. et BRENNER, A. (1923). — *Ber. dtsch. keram. Gesellsch.*, 56, 1433.
-

SUR UN PHÉNOMÈNE DE MÉTASOMATISME DANS LES ROCHES VERTES DU MONTGENÈVRE (HAUTES-ALPES)

PAR MARC VUAGNAT,
Chargé de cours à l'Université de Genève.

Sommaire. — La serpentine du Chenaillet (Hautes-Alpes) contient des sortes de boules composées de trois parties : un noyau à structure diabasique composé de chlorite et augite ; une enveloppe intermédiaire constituée d'une chlorite alumineuse et d'un peu de magnétite ; une enveloppe externe serpentiniteuse. La genèse de ces boules peut s'expliquer par une serpentinisation métasomatique de coulées en coussins diabasiques.

I. — Les ophiolites des environs du Montgenèvre.

On sait que les ophiolites ou roches vertes jalonnent le géosynclinal alpin. Ces roches, telles que les amphibolites, ovardites, prasinites, etc., résultent en majeure partie d'un métamorphisme plus ou moins accentué. Cependant les produits primitifs ont été conservés en certains points. Entre le Rhin et la Méditerranée, par exemple, on trouve quelquefois des masses d'*ophiolites intactes*. En trois endroits, au moins, dans les Grisons : Basse Engadine, Oberhalbstein, zone d'Arosa ; dans les Préalpes : klippen des environs d'Ober-Iber (Schwyz), Préalpes romandes du Pays d'en Haut (Vaud), Préalpes du Chablais aux environs du Col des Gets (Haute-Savoie) et, enfin, au Sud du col du Montgenèvre situé entre Briançon (Hautes-Alpes) et Cesana Torinese (province de Turin).

Cette dernière masse paraît la plus importante de toutes. Elle couvre plusieurs km² de part et d'autre de la frontière franco-italienne et culmine au sommet du Chenaillet (2.634 m.). Étudiée à la fin du siècle dernier par A. Michel-Levy (1877) puis par G. A. J. Cole et J. W. Gregory (1890), elle n'a dans la suite plus guère attiré l'attention des pétrographes.

Les trois principaux groupes de roches suivants forment la masse ophiolitique du Montgenèvre :

- a) Des ultramafites de la famille des *serpentes*.
- b) Des roches basiques grenues de la famille des *gabbros*, généralement saussuritisés, ou *euphotides*.
- c) Des roches basiques à grain fin, porphyriques ou aphanitiques, de la famille des *diabases* : soit des diabases en dykes, soit des coulées en coussins (pillow-lavas) accompagnées de cailloux et d'agglomérats.

Nous avons repris l'étude pétrographique de cette région en 1946. On trouvera ici une note préliminaire sur les rapports qui existent entre deux de ces groupes de roches : les serpentines et les pillow-lavas.

II. — Situation de l'affleurement étudié.

Suivons le sentier qui, du Chenaillet, conduit à la Collette verte sur la frontière franco-italienne. Après l'abrupte descente du sommet, on ne tarde pas à arriver sur un replat constitué par une petite selle, un peu au Sud du Souréou (carte topographique au 1.20.000^e). On quitte alors les diabases en coussins du Chenaillet pour entrer dans une *bande serpentineuse* de quelques dizaines de m. de large qui traverse la crête en direction Nord-Sud. Cette bande est limitée à l'E par de nouveaux coussins diabasiques plus petits que ceux qui forment le Chenaillet et paraissant passer, par endroits, à des sortes d'agglomérats. La partie septentrionale de la bande serpentineuse est formée d'une bouillie de serpentine qui contient des fragments plus résistants, des sortes de *boules* irrégulières, dont le diamètre varie de quelques centimètres à quelques décimètres (Vuagnat, 1932).

L'aspect extérieur de ces boules est serpentineux. En les brisant, on constate toutefois que l'on a affaire à quelque chose de plus complexe. Elles apparaissent, en effet, constituées de trois parties différentes. Un noyau, souvent très dur, de teinte verte ou grise relativement claire ; une première enveloppe (enveloppe intermédiaire) très foncée et assez

tendre; une seconde enveloppe (enveloppe externe) très tendre et de couleur verte, qui donne à la roche son allure de serpentine.

Nous nous proposons de décrire un exemplaire typique de ces boules, exemplaire qui a fait l'objet de recherches assez détaillées. Nous indiquerons ensuite quelques-unes des variations que l'on observe lorsqu'on passe d'une boule à l'autre.

III. — Descriptions micrographiques.

Le spécimen étudié atteint approximativement une vingtaine de cm. de diamètre et se compose du noyau et des deux enveloppes mentionnées ci-dessus.

a) *Le noyau*. — Le diamètre du noyau est de l'ordre de grandeur d'une douzaine de cm. A l'œil nu, il apparaît comme une roche dure, compacte, de teinte gris vert, avec quelques petites taches noires.

L'étude *microscopique* révèle une belle structure *interstitiale divergente* (Vuagnat, 1946, p. 147), dont la trame est constituée par de longs microlites à extrémités souvent fourchues (photo 1). Les plus longues de ces sections dépassent 1 mm. tandis que leur largeur est de l'ordre de grandeur 0,05 mm. : elles sont donc environ 20 fois plus longues que larges. L'allure de ces cristaux et la comparaison avec les diabases en coussins, donnent à penser qu'il devait primitivement s'agir de microlites de plagioclase. Ces microlites sont actuellement remplis de minéraux : une *chlorite* incolore, sans relief, très faiblement biréfringente et dispersive dans les tons bleus, avec une élongation positive, un autre minéral, plus abondant, appartenant sans doute aussi au groupe des *chlorites*. Ce dernier minéral forme un feutrage de fibres ou d'écaillures courtes et extraordinairement fines, orientées dans tous les sens, mais principalement dans une direction transversale à l'allongement des microlites. La biréfringence de ces cristaux semble presque nulle et leur élongation, pour autant qu'on puisse la déterminer, positive.

Les interstices vaguement triangulaires délimités par les

icrolites pseudomorphosés sont occupés en majeure partie par de l'*augite*. Ce minéral de teinte beige ne présente pas de caractères optiques anormaux ; en revanche, son habitus est particulier. Les plages plus ou moins isométriques présentent une sorte de structure en *dents de peigne*, car elles sont subdivisées en étroites bandes parallèles à extinction commune, ayant l'apparence de bâtonnets. Ces bandelettes, dont la longueur peut atteindre 0,25 mm. tandis que leur largeur est de l'ordre de grandeur du centième de mm., sont comparées par de la chlorite. Notons aussi, qu'en d'autres points, le pyroxène a cristallisé plus grossièrement et forme des sections rectangulaires allongées de taille relative moyenne (par exemple : $0,03 \times 0,3$ mm.).

Les plages d'*augite* contiennent de très petits grains (environ 0,01 mm. de diamètre) d'un minéral brunâtre semi-opaque au fort relief. Il s'agit sans doute de *sphène* ou de *leucoxène* provenant peut-être de la transformation de granules d'ilménite ou de titanomagnétite.

Enfin, la trame présente des *lacunes* (taches noires visibles à l'œil nu) remplies de chlorite presque isotrope à faible relief. La forme de ces lacunes présente trois variations :

α) Plages informes à contours très découpés.

β) Sections rondes correspondant à des *amygdales*.

γ) Sections à contours rectilignes correspondant dans certains cas, à des cristaux d'*olivine* pseudomorphosés. Des exemples analogues de pseudomorphoses se rencontrent dans les diabases en coussins.

b. *Enveloppe intermédiaire*. — L'épaisseur de cette enveloppe est de 4 cm. environ. Sa teinte est gris noir très foncé, avec un mince liseré encore plus sombre au contact du noyau et des liserés rougeâtres près du bord externe.

Sous le *microscope*, on constate l'existence d'une structure tertiaire divergente analogue à celle du noyau (photo 2). L'observation entre nicols croisés montre qu'il s'est cependant produit un changement notable : tout le champ est obscur. On constate que cette apparence est due aux modifications suivantes.

Les longs microlites de plagioclase ne contiennent qu'une seule sorte de *chlorite* à faible relief, quasi isotrope, faiblement dispersive. Cette *chlorite* incolore est en réalité formée d'un agrégat de minuscules écailles, sans orientation privilégiée.

Le *pyroxène* a complètement *disparu*. Il est remplacé par une *chlorite* identique à celle que nous venons de décrire. Toutefois la forme des microlites de plagioclase est conservée grâce à d'innombrables granules opaques. Ces granules fins (taille comprise entre 0,001 et 0,01 mm.), à contours généralement convexes, ont une densité variable ; ils s'agglomèrent par endroits et leur répartition permet de reconnaître la place des anciennes sections de feldspath ainsi que la structure interne en dent de peigne des augites disparues. Lorsqu'on croise les nicols et qu'on emploie un éclairage suffisamment puissant, le minéral opaque présente de vagues reflets rougeâtres. Nous verrons plus loin qu'il s'agit, en majeure partie tout au moins, de *magnétite*.

Comme dans la partie centrale, la trame disparaît en places, laissant la *chlorite* dépourvue de granules opaques. Dans quelques cas on soupçonne des amygdales à structure concentrique.

La structure *zonée*, observable à l'œil nu, parallèle au bord externe de l'enveloppe, correspond à des bandes alternativement plus riches ou plus pauvres en minéral opaque. Les reflets rougeâtres de ce dernier augmentent vers ce bord.

c) *Enveloppe externe*. — L'enveloppe externe du spécimen étudié est relativement mince (1 à 2 cm. d'épaisseur). Elle est tendre, de teinte vert assez foncé et d'allure nettement serpentineuse. On devine, à l'œil nu déjà, une structure bréchiforme. Il est au reste possible qu'il ne s'agisse pas d'une véritable enveloppe au sens strict du mot, mais bien de la matière cimentant les boules.

L'examen *microscopique* permet d'observer, dans cette enveloppe, l'existence d'une structure tout autre que la structure caractéristique des parties plus internes. Il n'y a plus de traces des microlites divergents, pseudomorphoses d'anciennes

agioclases ; ce qui frappe en tout premier lieu c'est une structure microbréchique très nette.

La plaque mince étudiée permet d'étudier le *contact* entre les deux enveloppes. Il s'agit d'une limite tranchée sans structures passant de l'une à l'autre (photo 3). On note toutefois que l'enveloppe intermédiaire contient, près de la limite en question, une substance brunâtre, faiblement anisotrope et indéterminable.

L'enveloppe externe est constituée de fragments à contours assez anguleux, dont la taille peut dépasser 1 cm., nageant dans une matrice elle-même hétérogène (photo 4). Nous ne sommes pas encore en mesure de décrire toutes les sortes de fragments contenus dans cette enveloppe. Notons que certains d'entre eux ont une allure de *serpentine typique*. Il s'agit de morceaux possédant une structure réticulée dont les mailles sont occupées par une serpentine isotrope et incolore et séparées les unes des autres par des rubans de serpentine jaunâtre polarisant jusque dans le jaune du premier ordre avec une elongation positive. D'assez grandes plages de bastite incolore striée, polarisant dans le gris bleu, rompent la régularité de la structure. On remarque en outre des grains et des vermicules de minéral opaque.

Les autres fragments sont plus surprenants et moins faciles à décrire. Ils semblent être constitués, pour la plupart, de minéraux appartenant à la famille des chlorites-serpentes. Ainsi, on trouve des agrégats de chlorite, dispersive dans les tons bleus ou dans les tons bruns, possédant une belle structure en gerbe.

La *matrice*, d'allure tuffogène, est formée de plages de serpentine polarisant dans le jaune, de grandes lamelles d'une sorte de chlorite incolore et polarisant dans le blanc, de fragments d'une chlorite très verte et de grains de minéral opaque. Les éléments sont pris dans une pâte d'aspect felsitique.

Il est certain que nous disposons, pour le moment, de renseignements trop fragmentaires pour bien connaître cette enveloppe si complexe. Il faudra encore beaucoup d'observations pour dresser la liste des éléments qui la composent.

IV. — Données radiocristallographiques.

Nous avons obtenu, grâce à l'amabilité de M. W. Epprecht, Professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Zurich, diagramme Debye-Scherrer de chacune des trois parties de la boule étudiée. L'interprétation de ces diagrammes permet d'établir ou de confirmer les points suivants :

a) Le diagramme du noyau présente les lignes d'une *chlorite* avec un nombre plus restreint de lignes attribuable à l'*augite* ; cependant, même si l'on ne tient pas compte de ces dernières, le diagramme restant révèle des différences assez notables lorsqu'on le compare aux diagrammes de chlorites de notre possession. Il n'est donc pas encore certain que le minéral très fin, presque cryptocristallin, qui remplit en majeure partie les microlites d'*augite* soit réellement de la chlorite.

b) Le diagramme donné par l'enveloppe intermédiaire correspond assez exactement à celui d'une chlorite *ripidolite* provenant d'une diacase alpine de Las Tuors (Grisons). D'autre part, six lignes de ce diagramme ne s'expliquent qu'en admettant qu'une partie importante du minéral opaque est de la *magnétite*. Cette détermination est au reste confirmée par l'essai à l'aimant effectué sur un concentré de batée de la roche pulvérisée. Les reflets rougeâtres observables entre nicols croisés (voir plus haut) proviennent peut-être du fait que la *magnétite* est partiellement transformée en hématite par magnétisation.

c) Le diagramme de l'enveloppe externe est plus difficile à interpréter. On reconnaît de nombreuses lignes caractéristiques d'un diagramme de poudre de *chlorite*. Mais on constate que certaines lignes de ces diagrammes manquent, tandis que certaines lignes sont nouvelles et inexpliquées. Étant donné la complexité de cette partie bréchoïde, il n'y a pas lieu de s'étonner de ces difficultés. Des analyses radiocristallographiques sur des fragments de cette enveloppe isolée au préalable donneront sans doute des renseignements plus précis.

V. — Données chimiques.

M. J. Jakob, Professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Zurich, a bien voulu analyser séparément les trois parties de la boule étudiée. On trouvera ci-dessous les résultats de ces analyses, ainsi que les paramètres et valeurs de base calculées partir de ces résultats selon la méthode mise au point par Niggli (cf. C. Burri et P. Niggli, 1945, p. 24 et suivantes).

Résultats pondéraux des Analyses

	9722a	9722b	9722c
SiO ₂	34,92	29,87	38,50
Al ₂ O ₃	1,80	1,85	0,11
Fe ₂ O ₃ ...	15,18	12,80	1,70
MnO....	1,79	5,57	6,33
CaO....	6,44	3,35	0,97
MgO....	0,30	0,65	0,09
Na ₂ O....	20,05	32,95	38,40
K ₂ O....	9,27	0,00	0,00
H ₂ O....	1,22	1,28	0,98
CO ₂	0,06	0,29	0,05
CO+...	8,54	11,40	12,37
SO ₂ —...	0,46	0,16	0,57
SO ₃	0,17	0,18	0,00
omme..	100,20	100,05	100,07

Paramètres de Niggli

	9722a	9722b	9722c
si....	61,5	45,5	59,5
al....	15,5	11,5	1,5
fm....	65,0	86,5	97,0
c....	17,5	0,0	0,0
alk....	2,0	2,0	1,5
ti....	2,3	2,1	0,1
p....	0,1	0,1	0,0
h ₂ O....	50,0	56,5	63,5
k....	.02	.12	.03
mg....	.81	.87	.91
c/fm...	.27	.00	.00
qz....	-47	-63	-47

Valeurs de base

	9722a	9722b	9722c
Q...	12,7	1,7	4,9
L...	0,2	1,0	0,2
M...	6,8	7,0	5,5
π...	22,5	0,0	0,0
γ...	2,9	0,0	0,0
9722a = noyau de la boule.	0,0	17,4	0,0
9722b = enveloppe intermédiaire de la boule.	1,9	6,0	6,8
9722c = enveloppe externe de la boule.	43,3	60,9	81,4
	8,2	6,0	1,2
	1,3	1,3	0,1
	0,3	0,0	0,0

Paramètres de base

	9722a	9722b	9722c
Q...	12,7	1,7	4,9
L....	29,5	8,0	5,7
M....	57,9	90,4	89,5
π....	.76	.00	.00
γ....	.05	.00	.00
9722a = noyau de la boule.			
9722b = enveloppe intermédiaire de la boule.			
9722c = enveloppe externe de la boule.			

Analyste : J. JAKOB, E. P. F. Zurich.

Ces analyses confirment dans leur ensemble la nature *ultrabasique* de la boule puisque SiO_2 reste inférieur à 40 % et inférieur à 65 ; elles nous donnent aussi une meilleure idée des différences existant entre les trois parties (figure 1).

Le *noyau* est caractérisé par une notable teneur en chaux (existence de Cs en quantité non négligeable dans la base due à la présence de l'augite. Si nous supposons que toute la chaux se trouve dans ce minéral ou dans le sphène, on peut

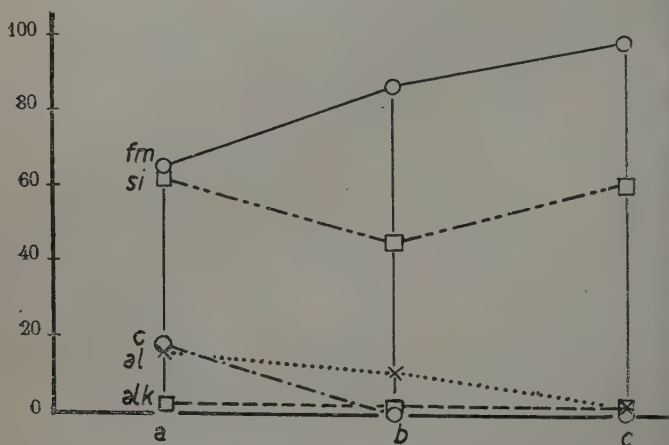


FIG. 1. — Valeurs des paramètres de Niggli (si, al, fm, c, alk) pour les trois parties de la boule 9722.
a = noyau, b = enveloppe intermédiaire, c = enveloppe externe.

à condition de postuler une certaine composition virtuelle pour le pyroxène, calculer la proportion de ce minéral et obtenir la composition du reste de la roche. Nous nous sommes livré à ces opérations en admettant que le pyroxène possède la composition de l'augite n° 7 (augite provenant de diabase mentionnée à la p. 343 du lexique de pétrographie de W. E. Tröger (1935)). On obtient de cette manière environ 40 % d'augite. Le reste du noyau (non compris le sphène) aurait alors la constitution d'une *chlorite amésitique*, anormalement pauvre en silice, assez riche en magnésie et contenant beaucoup d'eau ; la formule de cette chlorite serait : $14 (\text{Mg}, \text{Fe}), 20 \text{O}, 5 \text{Al}_2\text{O}_3, 12 \text{SiO}_2, 37 \text{H}_2\text{O}$. Ces calculs n'ont

videmment qu'une valeur toute relative, puisque l'augite elle possède peut-être une composition assez différente de la composition postulée pour l'augite virtuelle. Nous avons par exemple l'impression que la teneur en augite virtuelle est trop élevée.

L'analyse de l'*enveloppe intermédiaire* frappe au premier abord par la disparition totale de la chaux, ce qui s'exprime dans la base par l'existence de Sp (spinelle). Cette disparition correspond naturellement à la transformation du pyroxène en chlorite. La composition de cette chlorite serait, en supposant que tout le fer se trouve dans la magnétite martitisée, celle d'une chlorite intermédiaire entre l'amésite et la pennine.

Quant à l'*enveloppe externe* sa composition chimique est caractérisée par un second appauvrissement : l'alumine n'est plus présente qu'en teneur négligeable. Ce phénomène, accompagné de l'accroissement de la proportion de MgO, indique qu'on a passé du groupe des *chlorites alumineuses* au groupe des *chlorites serpentineuses*.

VI. — Comparaisons avec d'autres boules.

Toutes les boules ne sont pas exactement semblables à celle que nous venons de décrire. Si nous laissons de côté la diversité des tailles et des formes, nous constatons, d'un exemple à l'autre, des *variations* qui peuvent porter soit sur la microstructure de l'édifice, soit sur la microstructure des minéraux, soit encore sur leur composition. Nous mentionnons ci-dessous quelques-unes de ces particularités.

- a) La zone externe fait souvent défaut.
- b) Le noyau peut être dépourvu d'augite. La place du pyroxène est alors généralement occupée par un minéral grisâtre en tout petits granules isotropes que nous n'avons pu déterminer jusqu'à présent.
- c) L'enveloppe intermédiaire peut présenter une structure plus nettement rythmique que dans le cas étudié.
- d) La microstructure de la zone intermédiaire, très nette

près de la limite interne, peut devenir de plus en plus fine (photo 3) et disparaître presque complètement, par suite de l'appauvrissement en granules opaques.

e) La microstructure du noyau et de l'enveloppe intermédiaire peut être plus ou moins grossière. On observe une variation allant de structures fibroradiées à des structures intersertales divergentes grossières en passant par des structures arborescentes typiques des pillow-lavas.

Nous n'avons pas encore trouvé, parmi les boules du Morzine, de spécimens dans lesquels le plagioclase soit encore intact. En revanche, nous avons découvert en 1948 au Crêt au-dessus de Morzine (Haute-Savoie), dans un affleurement de serpentine de la nappe de la Brèche, des édifices analogues. Le noyau de certains d'entre eux est une diabase spilitique dont le plagioclase, de l'albite, est encore inaltéré. Ces boules sont actuellement étudiées par M. F. Jaffé, Ingénieur-Geologue.

VII. — Genèse. Conclusions.

Il serait évidemment prématuré de vouloir tirer des conclusions définitives de ces observations encore très superficielles. Il ne semble toutefois pas interdit de faire le point.

a) La *partie interne* (noyau et enveloppe intermédiaire) des boules possède les structures caractéristiques des *diabase coussins*: structures fibroradiées, arborescentes et intersertales divergentes. Il ne semble cependant pas que chaque boule corresponde exactement à un coussin, car on n'observe pas la diminution progressive de la taille du grain, du centre vers le bord.

b) L'*enveloppe externe* possède une *structure bréchique* totalement différente de la structure de la partie interne, faisant penser à un tuf.

c) Les différences de constitution entre les trois parties sont très nettes. Le noyau, qui contient de l'augite, est presque dépourvu d'alcalis mais riche en chaux et en alumine; l'enveloppe intermédiaire ne contient plus de chaux et se compose d'une chlorite alumineuse et d'un peu de magnétite; l'en-

oppe externe ne renferme plus de chaux et très peu d'alumine, c'est une sorte de serpentine. On voit que ces différences, exprimées graphiquement dans le diagramme de la figure 1, correspondent à une *diminution de la variété* des oxydes présents, à une homogénéisation chimique.

Comment se représenter la genèse de ces roches curieuses ? Il semble qu'il faut exclure une formation purement magmatique analogue à celle qui permet d'expliquer les variations de composition de certains coussins. En effet on constate des phénomènes de transformation indéniables tant dans le noyau (chloritisation des feldspaths) que dans l'enveloppe intermédiaire (chloritisation des feldspaths et des augites) qui ne s'expliquent que par *métasomatisme*.

Dans ces conditions, il semble qu'on peut avancer l'hypothèse de travail suivante, qui, au reste, sera certainement modifiée par les recherches ultérieures sur les boules du Montgenèvre et du Chablais.

Tout a débuté par la mise en place sous-marine de diabases en coussins et d'agglomérats constitués par des morceaux de coussins éclatés. Un peu plus tard, une phase fluide sans doute très riche en magnésium et en eau, à la limite entre un magma épithermal et une solution hydrothermale, a envahi la masse diabasique, peut-être à la faveur des interstices et des surfaces de discontinuités séparant les coussins ou leurs fragments. Cette phase fluide a déterminé une action métasomatique qui s'est réalisée en au moins deux stades principaux. Dans un premier stade le plagioclase seul a été chloritisé ; suivant la taille et la nature exacte des éléments et, sans doute, suivant la composition, l'abondance, la pression et la température de la « solution » cette première transformation a été plus ou moins générale. Dans la région du Montgenèvre elle paraît s'être étendue à tous les noyaux. Le second stade correspond à la chloritisation de l'augite. Peut-être existe-t-il un troisième stade consistant en la disparition du minéral opaque et en la transformation de la chlorite alumineuse en serpentine ? Il ne semble cependant pas que l'enveloppe externe puisse être considérée comme le produit d'une transformation

plus poussée du pillow à cause de sa structure particulière. S'agit-il alors du résultat de la cristallisation du magma-solution serpentineux ? Il nous semble plus probable que la structure bréchoïde n'est pas primaire mais *héritée*. Dans cette dernière hypothèse l'enveloppe externe proviendrait de la serpentinisation d'un ancien ciment tuffacé, peut-être un *tuff palagonitique*, liant les coussins ou les fragments de coussins.

Il est possible que les phénomènes de métasomatisme que nous venons de discuter ne se soient produits que dans une auréole relativement peu importante entourant une masse intrusive de magma ultrabasique se consolidant en des serpentines massives et typiques. Mais il n'est aussi pas exclu que ces serpentines typiques soient elles-mêmes le fruit d'une transformation métasomatique plus poussée et nous trouverions alors les gisements de boules sur le front de serpentinisation. Ce problème, ainsi que la question du mécanisme exact de l'action métasomatique, ne pourront être résolus que lorsqu'on disposera d'un nombre d'observations beaucoup plus grand.

BIBLIOGRAPHIE

- BURRI C. et NIGGLI, P. (1945). — *Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens*, Schweizer Spiegel Verlag, Zurich.
- COLE G. A. J. et GREGORY, J. W. (1890). — *Quart. J. geol. Soc. London*, 46, 295.
- MICHEL-LÉVY, A. (1877). — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 5, 232.
- TRÖGER, W. E. (1935). — *Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine*, Verlag der dtsh. miner. Ges., Berlin.
- VUAGNAT, M. (1946). — *Bull. Soc. suisse Minér. Pétr.*, 26, 116.
- VUAGNAT, M. (1952). — *Arch. Sci., Suisse*, 5, 191.
-

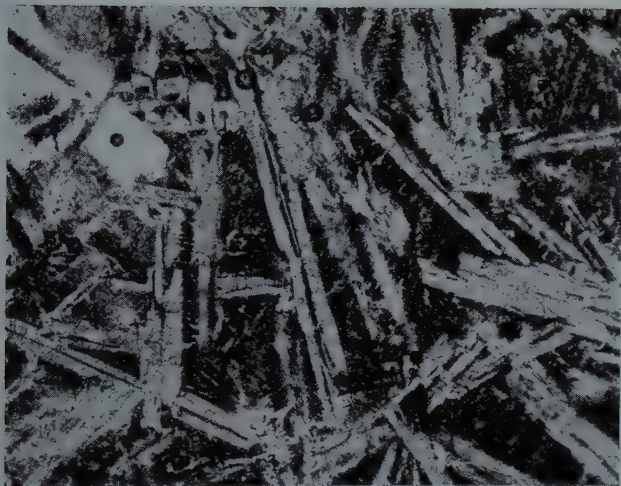


FIG 1. — Noyau Microlites allongés de feldspath transformé.
chlorite (parties sombres). Petit phénocrystal chloritisé (clair). Lum. nat. $\times 80$.

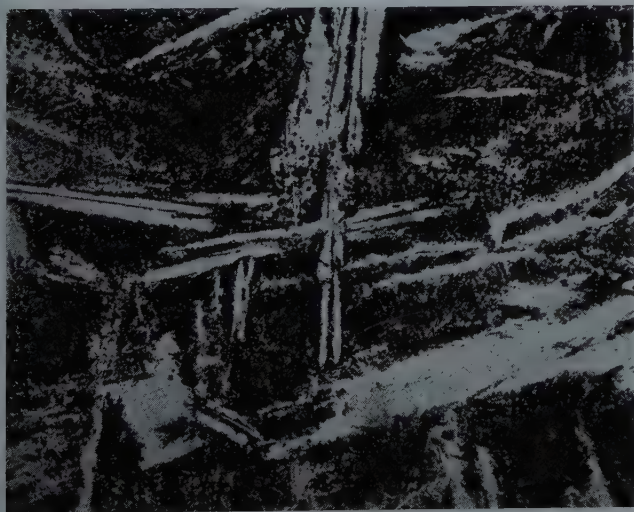


FIG 2. — Enveloppe intermédiaire. Chlorite avec nombreux granules de
magnétite dont la répartition permet de reconnaître les anciennes sections
de plagioclase. Lum. nat. $\times 80$.

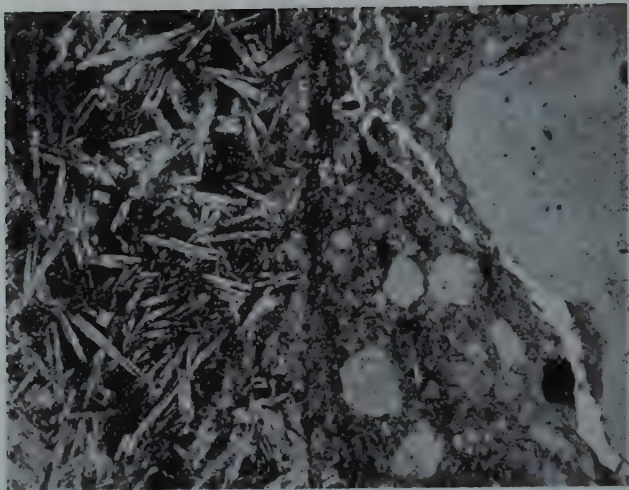


FIG. 3. — Limite entre l'enveloppe intermédiaire (structure intersertale divergente) et l'enveloppe externe (structure bréchoïde). Lum. nat. $\times 25$.

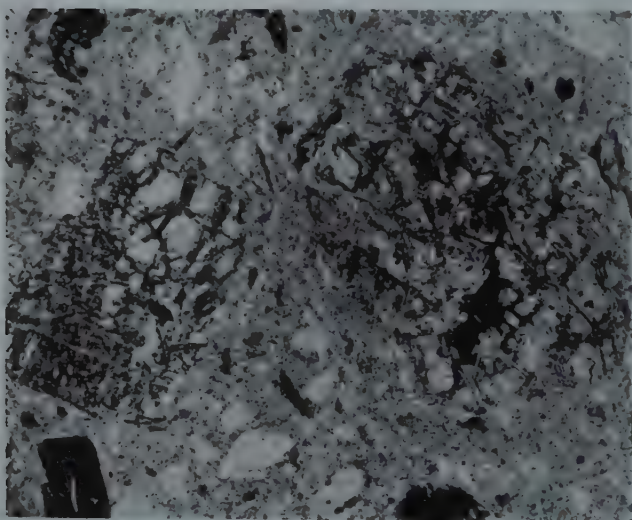


FIG. 4. — Enveloppe externe. Morceaux de serpentine à structure réticulée cimentés par matrice hétérogène. Lum. nat. $\times 25$.

SUR LES GITES PLOMBO-ZINCIFÈRES DE LA RÉGION DE NONTRON (DORDOGNE)

PAR MM. F. KRAUT ET J. PROUVOST,
Laboratoire de Minéralogie du Muséum, Paris.

Sommaire. — Les auteurs décrivent les gîtes plombo-zincifères de Saint-Martin-le-Pin, Nontron, Saint-Pardoux-la-Rivière. Ces gisements représentent trois zones de profondeur d'une même minéralisation. Le faciès du minerai varie avec la nature de la roche encaissante.

L'étude microscopique permet d'entrevoir quelques aspects du mécanisme de la mise en place du dépôt métallifère. En particulier, l'application de la méthode Sander-Schmidt donne des indications fort intéressantes sur la cristallisation du quartz dans les fissures.

Il existe dans la région de Nontron (Dordogne) un ensemble minéralisé plombo-zincifère qui se développe en bordure des formations cristallines en contact avec les roches sédimentaires.

Nous nous occuperons de trois gisements : Saint-Martin-le-Pin, Saint-Pardoux-la-Rivière, déjà connus, et Nontron, découvert depuis peu.

Le gisement de Saint-Martin-le-Pin se loge dans les arkoses rhétiennes qui s'intercalent entre les granites et les dépôts miocènes.

Lorsqu'on se trouve devant l'entrée d'une galerie de recherches, située à une centaine de mètres de la route Nontron-Javerlhac, au milieu des prés, on voit les arkoses, roches poreuses, fortement imprégnées de baryte et de galène (fig. 1).

En examinant de plus près le minerai, on découvre, en outre, dans la venue sulfatée, des agrégats de calcite bien cristallisés qui sont, à leur tour, pénétrés par une pegmatite à tourmaline réduite en fragments.

La blende accompagne accessoirement cette intrusion pegmatitique.

Au microscope, en lumière réfléchie, on identifie la marcassite englobée par la galène ou sertie directement dans la gangue.

La galène a été découverte dans une carrière de granite aux abords immédiats de Nontron, il y a environ 4 ans et fait actuellement l'objet d'une exploitation accessoire.

Elle constitue le produit principal de la minéralisation accompagnée par la cérusite et la calcite. Par endroits, on trouve pyrite et marcassite, exceptionnellement baryte et blende et, sous le microscope, quelques mouches de chalcoppyrite et de covellite.

La gangue est formée par le quartz.

La venue métallique s'est déposée dans le granite même. Dans les zones minéralisées, celui-ci est écrasé et forme souvent une brèche dont les fragments sont cimentés par le filon métallifère.

Exploité jadis activement, le gisement de Saint-Pardoux-la-Rivière a été abandonné il y a une vingtaine d'années.

Le rapport quantitatif des minéraux n'est pas le même que dans les deux gisements précédents.

La blende abonde à côté de la galène, la marcassite et elle-même largement développée et on observe les traces de la minéralisation cuivreuse représentée par la chalcoppyrite et la covellite.

La gangue est siliceuse et sulfatée.

Le dépôt métallique se loge dans un ensemble pétrographique assez varié où prédomine un gneiss à 2 micas et grenat traversé par des granites et pegmatites.

Si l'on compare les caractères minéralogiques des trois gisements, on remarque qu'ils ont un élément commun, la galène.

La blende, très accessoire à Nontron, prend une certaine importance à Saint-Martin-le-Pin et abonde à Saint-Pardoux-la-Rivière.

Il faut souligner, d'autre part, que le plomb est très oxydé à Nontron où la cérusite accompagne la galène. Ce gisement est d'ailleurs très peu sulfaté alors que la barytine se dépose

argement dans les deux autres. Elle est la satellite principale de la galène à Saint-Martin où le quartz fait défaut.

A Saint-Pardoux-la-Rivière coexistent, en proportions assez voisines, le quartz et la barytine.

Insistons aussi sur l'absence des carbonates dans ce gisement et sur l'abondance de la calcite à Saint-Martin.

Ayant situé un gisement par rapport aux formations géologiques où il s'est mis en place et déterminé les associations minéralogiques qu'il renferme, on peut l'intégrer dans la classification métallogénique.

En l'occurrence, il s'agit de gîtes hydrothermaux qui se déposent à partir de solutions aqueuses entre la température critique de l'eau et environ 50°.

On sait que dans les gîtes de plomb de ce genre les parties supérieures du dépôt sont souvent très sulfatées et pauvres en galène, tandis qu'en plus grande profondeur, le filon devient siliceux et s'enrichit en sulfure.

A Saint-Martin-le-Pin, au contact du massif granitique avec les terrains sédimentaires, nous sommes probablement dans la zone supérieure pauvre en Pb, très sulfatée et dépourvue de quartz.

A Nontron se concentre, en quantité relativement importante, la galène dans les filons quartzeux et nous touchons à une zone profonde de la minéralisation.

Enfin, à Saint-Pardoux, avec son minerai à la fois siliceux et sulfaté, on se trouverait à un niveau intermédiaire.

Suivant la nature de la roche encaissante, le faciès du minerai varie :

Saint-Martin-le-Pin, dans les arkoses, rappelle un type de gîte d'imprégnation ;

à Nontron, nous avons affaire à un remplissage filonien classique ;

à Saint-Pardoux-la-Rivière, la minéralisation affecte un ensemble cataclastique de roches différentes et le minerai possède lui-même une structure bréchiforme.

-S'il existe un ordre de cristallisation de divers constituants, valable pour la plupart des gîtes connus, la chronologie n'est

que relative, c'est-à-dire que le dépôt d'un certain minéral n'est pas encore achevé lorsqu'un autre, plus récent, commence à cristalliser et, en observant les rapports spatiaux, on peut distinguer plusieurs générations d'un même minéral.

Au lieu de rechercher des précisions de cet ordre, comme on le fait habituellement les auteurs, nous nous sommes efforcés de trouver des indications sur le mécanisme de la minéralisation.

Il apparaît tout d'abord que le phénomène de remplissage est essentiellement le même à l'échelle du filon et à l'échelle microscopique. On prend pour ainsi dire sur le vif le dépôt des minéraux dans des fissures dont la largeur ne dépasse pas le dixième du millimètre.

C'est avec le quartz que nous avons fait les observations les plus instructives. Il est dans les gîtes de Nontron et Saint-Pardoux, le minéral le plus abondant de la gangue et assure le transport des autres.

On le voit sur la figure 2 charrier des cristaux de calcite qu'il va déposer dans les fentes d'un feldspath dissous et disloqué.

Nous avons là une réponse satisfaisante à une question primordiale :

Faut-il s'imaginer que la solution chargée d'ions arrive dans les fissures pour donner naissance sur place aux minéraux qui remplissent le vide ?

L'image suggère plutôt l'idée de transport d'une phase solide, disons objets solides (cristaux de carbonate) dans un milieu fluide (silice).

Une autre figure (fig. 3) montre l'arrivée de cristaux de calcite entraînés par le quartz, dans deux fentes d'un feldspath.

Nous avons choisi ce cas parce que les fissures ont exactement la largeur des cristaux. Pour passer, ceux-ci sont obligés de se placer parallèlement aux parois.

A l'intersection des fentes, le vide s'élargit, l'un des cristaux essaie de doubler son précurseur et il se produit un embouteillage.

D'autre part, si l'on examine le remplissage siliceux des fentes parallèles, on remarque presque toujours que dans chacune d'elles le quartz a la même orientation optique. On peut

s'imaginer que, dans la masse de silice en mouvement, pré-existent, pour ainsi dire, les vecteurs cristallographiques.

Toutes ces observations nous conduisent à admettre que le quartz possède, immédiatement avant sa consolidation, une mobilité remarquable.

Jusqu'à présent, nous avons envisagé des vides très étroits. Lorsque la cristallisation s'effectue dans des espaces plus larges, d'autres constatations se dégagent. Elles sont de deux catégories :

La première est due à l'influence des parois des fissures ou des surfaces des éléments de la roche encaissante.

Les cristaux croissent avec l'axe perpendiculaire aux parois ou aux surfaces.

La microphotographie (fig. 4) représente un morceau de granites (Nontron) entouré de quartz montrant la structure en peigne : les cristaux s'appuient sur les surfaces du fragment.

Les efforts mécaniques auxquels est soumis le milieu générateur déterminent les orientations préférentielles de la seconde catégorie. L'arrangement des éléments n'est pas immédiatement visible mais on peut le déceler en déterminant, avec la platine de Fédoroff, la position des axes cristallographiques d'un grand nombre de grains.

Nous avons représenté dans le réseau conforme les mesures faites sur un agrégat de Saint-Pardoux-la-Rivière. Les trois quarts des pôles sont compris dans une aire étroite (diagramme 1).

On peut obtenir des résultats plus précis en appliquant la méthode introduite par Schmidt dans la structurologie des roches.

Le diagramme 2 donne les courbes 1, 3, 5, 7 %, une dizaine de pôles seulement sur 200 se situent à l'extérieur de la courbe de 1 %, mais près d'elle. Le diagramme possède un plan de symétrie passant par le maximum et le centre du cercle.

Un troisième agrégat montre une symétrie supérieure (diagramme 3) : plus de 80 % des axes cristallographiques ont, par rapport au plan équatorial de la sphère, une inclinaison inférieure à 30° et aucun d'entre eux ne dépasse 42° .

Il existe 3 plans de symétrie mutuellement perpendiculaires

dont 2 passent par les maxima tandis que le troisième coïncide avec le plan de projection. La symétrie orthorhombique du diagramme indique que l'assemblage a cristallisé dans un milieu soumis à des efforts concentriques dans des conditions statiques (¹ et ²). Le système des contraintes n'était pas homogène. L'inclinaison des axes montre en effet l'influence d'une pression majeure perpendiculaire à l'un des plans de symétrie sur la croissance des cristaux.

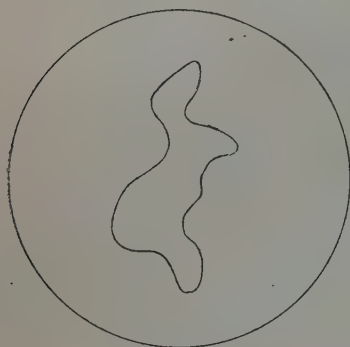


DIAGRAMME 1.

Répartition des axes cristallographiques des grains de quartz représentés dans le réseau de Schmidt.

DIAGRAMME 1 : agrégat de Saint-Paul-doux La Rivière.

DIAGRAMMES 2 et 3 : agrégats de Neuchâton.



DIAGRAMME 2.

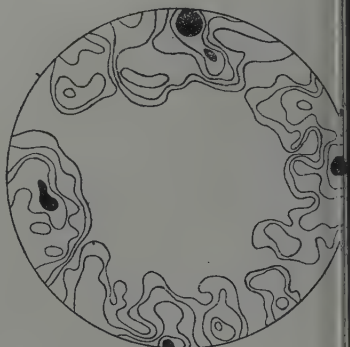


DIAGRAMME 3.

(1) Walter SCHMIDT, Gefügesymmetrie und Tektonik. *Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt*, Vienne, 1950.

(2) Bruno SANDER, *Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper*, t. II, Vienne, 1950

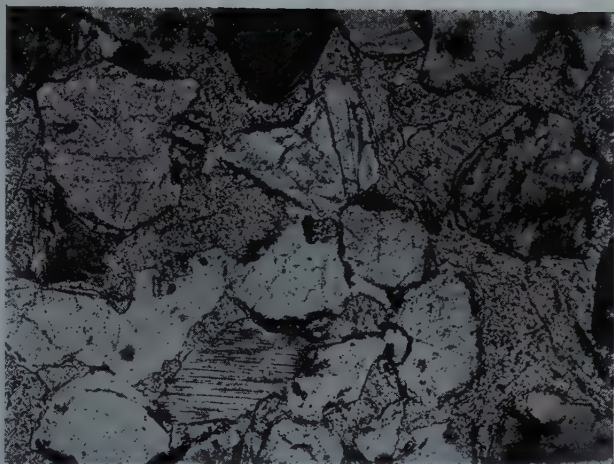


FIG. 1. — *Gisement de Saint-Martin-le-Pin.*

Arkose minéralisée par la baryte. Le sulfate cimente les fragments de quartz de feldspath. Grossissement 80, lumière naturelle transmise.

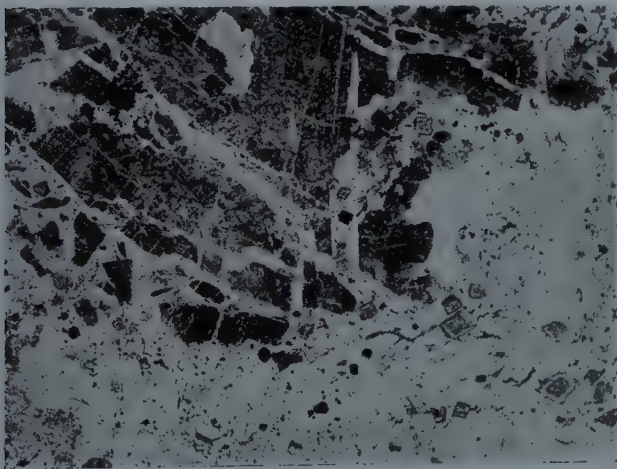


FIG. 2. — *Carrière de Nontron.*

Cristaux de calcite transportés par la silice secondaire. Grossissement 80, lumière naturelle transmise.

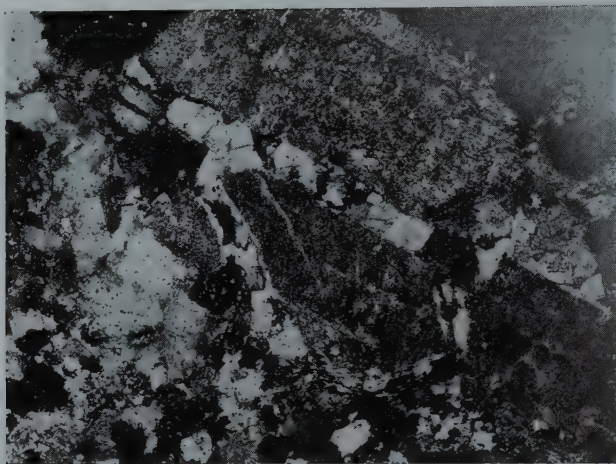


FIG. 3. — *Carrière de Nontron.*

Remplissage des fissures d'un feldspath par le Quartz et la calcite Grossissement 80, lumière naturelle transmise.

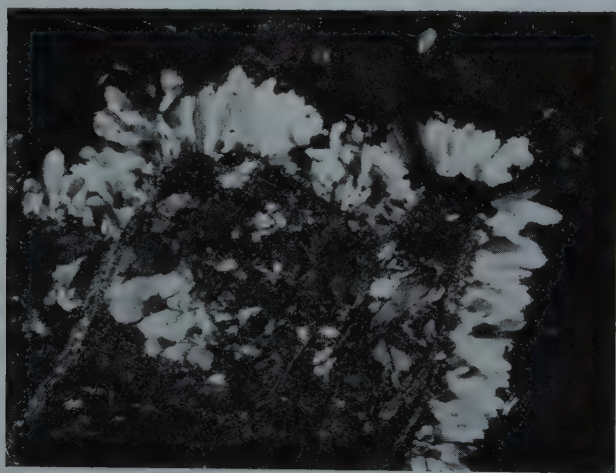


FIG. 4. — *Carrière de Nontron.*

Structure « en peigne ». Les cristaux de quartz croissent perpendiculairement aux surfaces d'un fragment de granite Grossissement 40, lumière naturelle transmise.

A PROPOS DE RELIQUATS MAGMATIQUES DANS LES QUARTZ DE PREMIÈRE CONSOLIDATION DES ROCHES A DEUX TEMPS DE CRISTALLISATION

PAR G. A. DEICHA,

Laboratoire de Géologie Appliquée de la Sorbonne.

Sommaire. — Description de quelques particularités de la morphologie et du remplissage d'inclusions vitreuses de quartz. Le verre de ces inclusions accompagne parfois des microlites préexistants, on peut d'autre part observer des cristaux formés lors du second temps de consolidation de la roche, enfin les phénomènes de dévitrification donnent naissance à un troisième type de dépôt solide. De telles inclusions semblent devoir se prêter à des expériences pyrognostiques qui permettent de mieux préciser l'histoire de la consolidation et de l'évolution de la roche.

Les inclusions vitreuses des minéraux de roches volcaniques sont loin de constituer une rareté; nous en trouvons déjà de nombreuses descriptions et de belles figurations dès les débuts de la pétrographie microscopique (H. Vogelsang, 1867). A l'époque où les analyses chimiques de roches avaient ouvert la voie à l'application de la loi des phases aux magmas, la présence d'inclusions vitreuses dans les cristaux de feldspath des andésites avait même été un moment interprétée comme un effet de miscibilité partielle de matières fondues (F. Loewinson-Lessing, 1899). L'étude de ces reliquats vitreux peut fournir d'intéressantes précisions sur les phénomènes magmatiques. Les quartz porphyriques présentent à cet égard un matériel particulièrement instructif. Les observations qui font l'objet de la présente note ont été faites sur des échantillons de la collection pétrographique de A. Lacroix au Muséum. Je tiens à exprimer à M. le professeur J. Orcel, directeur du Laboratoire de Minéralogie et à M^{me} E. Jérémie ma reconnaissance pour avoir facilité ces recherches.

DIMENSIONS ET MORPHOLOGIE DES CAVITÉS.

La fréquence des inclusions vitreuses est des plus variables elles sont parfois si rares que leur présence peut passer inaperçue en lame mince, surtout lorsque leur répartition est désordonnée. C'est une des raisons pour lesquelles il est préférable de les chercher dans des esquilles assez épaisses. De telles préparations ont aussi l'avantage de permettre d'étudier dans leur intégrité les inclusions dont le diamètre dépasse l'épaisseur normale des plaques minces. Les dimensions de ces inclusions varient non seulement d'un échantillon à l'autre mais encore à l'intérieur d'un même grain de quartz. La microphotographie fig. 1 l'indique clairement : on y observe côté à côté une inclusion qui atteint presque $1/10$ de mm. de sa plus grande dimension et une autre qui dépasse à peine 10μ . Il a naturellement intérêt à rechercher les inclusions les plus grandes pour pouvoir observer leurs caractères avec un certain détail.

Très souvent les inclusions vitreuses des quartz rhomboédriques correspondent à des remplissages de cavités qui sont de véritables cristaux négatifs, dont la symétrie hexagonale indique que le quartz a cristallisé sous la forme β de haute température, alors même qu'il a perdu ses formes extérieures par éclatement ou corrosion. Très souvent les faces des cristaux négatifs sont légèrement bombées, la microphotographie citée (fig. 1) en donne un exemple. Mais la perfection géométrique de ces lacunes d'édifices cristallins est loin d'être la règle. Il en est des inclusions vitreuses primaires comme des inclusions fluides naturelles et artificielles : leur morphologie est très sensible aux conditions de cristallisation. Il existe non seulement des inclusions à faces plus ou moins déprimées mais aussi des inclusions sans forme cristallographique, parfois très allongées presque à la manière des cavités doubles de je viens de donner une figuration dans une étude sur les inclusions fluides des quartz de l'Adrar Mauritanien (Matériaux Th. Monod) (G. Deicha, 1952).

LE RETRAIT DU REMPLISSAGE VITREUX PAR REFROIDISSEMENT.

Généralement ces inclusions présentent des bulles. L'immobilité de ces bulles est un premier critère de la rigidité du remplissage. L'immobilité est une condition nécessaire mais non suffisante de diagnose, et c'est l'indice relativement élevé de ce remplissage qui en est le caractère décisif. D'autre part alors que pour les inclusions aqueuses l'origine de la bulle est généralement attribuée à l'effet de contraction au cours du refroidissement il n'en est plus de même pour les inclusions vitreuses. L'hypothèse de l'emprisonnement de bulles préexistantes peut se soutenir pour les inclusions vitreuses avec plus de vraisemblance que pour les inclusions aqueuses : la viscosité des magmas s'oppose à l'élimination des bulles aqueuses ; d'ailleurs une lave en effusion peut être le siège d'une véritable ébullition. Cependant mes propres observations sur les inclusions vitreuses des quartz de rhyolites me font penser que les bulles de ces inclusions peuvent s'expliquer par le retrait de la masse fondue au cours de son refroidissement. Un premier argument en faveur de cette façon de voir est la proportionnalité du volume de la bulle au volume de la cavité dans les inclusions d'une même génération. Cette proportionnalité est d'autant plus frappante que les cavités ont de formes plus parfaitement semblables les unes aux autres et que leurs dimensions varient dans une plus large mesure.

Un second argument peut être tiré de la présence de deux bulles dans les inclusions allongées. En raison de la viscosité du magma il se forme des bulles de retrait indépendantes dans chaque renflement de la cavité. L'analogie est complète avec les bulles de retrait des « larmes bataviques » : si la goutte de verre trempé est arrondie, une seule bulle de retrait se forme, approximativement au centre de la masse ; si la lame est de forme allongée il se forme deux ou même plusieurs bulles de retrait pouvant constituer un véritable chalet.

Il convient aussi de noter que le rapport entre le volume de la bulle et la masse de verre est d'un ordre de grandeur comparable dans les larmes bataviques et dans les inclusions étudiées. Dans les inclusions que j'ai observées ce rapport dépasse guère $1/10$, et reste généralement bien inférieur à ce chiffre — dans le cas de l'exemple servant à l'illustration de la présente note il est de l'ordre $1/30$, seulement. Le moment n'est pas encore venu de se livrer sur ces inclusions à des calculs thermométriques analogues à ceux qui peuvent être faits avec les abaques sur les inclusions aqueuses (F. Ingerson, 1948). Ce que nous savons du coefficient de dilatation des verres d'une part (voir par exemple A. Dietzel et M. A. Shelby, 1948) et, d'autre part des températures des magmas volcaniques, se trouve en accord avec l'hypothèse de la formation des bulles par retrait. Il y a naturellement lieu de tenir compte dans ces évaluations du changement de volume du quartz au passage de la forme β à la forme α au cours du refroidissement. Le paragraphe suivant nous montrera d'ailleurs que des changements de volume dus à des phénomènes de cristallisation sont aussi à envisager.

Je signalerai enfin que même dans les cas où la formation de la bulle doit être attribuée au retrait cette bulle n'est pas nécessairement vide de matière : des constituants volatils du reliquat magmatique ont pu y trouver refuge. Dans certains cas ces gaz peuvent être mis en évidence grâce aux essais d'écrasement.

PHASES CRISTALLINES DES RELIQUATS MAGMATIQUES.

Très fréquemment on peut observer dans les inclusions vitreuses la présence de matière cristalline. On peut envisager trois origines possibles : les cristaux peuvent être soit antérieurs à la formation de l'inclusion, soit contemporains du refroidissement, soit enfin résulter d'une évolution ultérieure de la masse vitreuse. Certains caractères permettent parfois de distinguer entre ces possibilités. Nous prendrons quelques exemples dans un quartz prélevé sur un échantillon

le microgranite à plagioclase de Collo (Dép. de Constantine, Algérie) D 152 de la coll. pétrographique du Muséum.

Les *inclusions cristallines* sous forme de microlites préexistants peuvent se trouver associées aux inclusions vitreuses. Lorsque le microlite est assez grand il peut avoir constitué un obstacle mécanique à la régularité de la cavité qui l'emprisonne. Dans certains cas le microlite préexistant peut imposer sa forme à toute la cavité. Dans l'exemple étudié la préexistence des microlites est attestée par leur présence à l'état d'inclusions solides isolées dans le quartz.

Les *dépôts cristallins* peuvent se former au cours du refroidissement du reliquat magmatique encore liquide : on a parfois décrit des masses microcristallines sous forme d'inclusions dans ces minéraux ; ces masses ne sont pas différentes de la pâte et leurs minéraux correspondent au second temps de cristallisation. L'intérêt de l'exemple étudié réside dans le fait que le dépôt cristallin n'a pas envahi toute la masse de l'inclusion mais se trouve localisé. La microphotographie fig. 2 permet d'observer le dépôt finement cristallisé hérissant la surface de la bulle qui se trouve dans ce cas entièrement opacifiée, alors que dans d'autres inclusions quelques cristaux seulement ont pris naissance dans les mêmes conditions. Cette nucléation à la surface d'une bulle gazeuse est un fait qui avait déjà été mis en évidence lors d'expériences de cristallogénie sur des substances fondues, en particulier par O. Lehmann sur l'acide tartrique (H. Buckley, 1951). Dans le cas étudié cette cristallisation peut avoir été favorisée par la concentration des constituants volatils du magma dans la bulle — des essais par écrasement sur des inclusions isolées nous ont permis de constater la présence de gaz sous pression.

Une *phase microcristalline de dévitrification* peut résulter de l'altération de la masse de l'inclusion. H. Vogelsang avait déjà attiré l'attention sur le fait que ce phénomène était lié aux cassures secondaires du cristal. La microphotographie fig. 3 montre à côté d'une inclusion vitreuse intacte une fissure au passage de laquelle plusieurs autres inclusions se sont trouvées opacifiées par altération. De telles fissures se trouvent

généralement tapissées d'inclusions secondaires aqueuses (Aussi banales dans les roches de demi-profondeur et de surface qu'elles le sont dans les roches éruptives, profondes, dans les roches métamorphiques). Naturellement lorsque les fissures secondaires, jalonnées d'inclusions hydrothermales, deviennent trop nombreuses tous les reliquats magmatiques peuvent se trouver dévitrifiés.

*
* *

On se plaît parfois à opposer inclusions magmatiques et inclusions fluides : alors que par exemple les inclusions liquides et gazeuses sont sensibles à des variations de température de quelques dizaines de degrés, les inclusions vitreuses ne révèlent par contre aucune modification lorsqu'on les étudie sur une platine chauffante ordinaire. Une série d'essais effectués sur des quartz rhyolitiques m'ont montré que cette passivité des reliquats magmatiques figés par la surfusion cesse à partir du point de ramollissement. Des expériences poussées au delà de 1.000°C m'ont permis de constater que le coefficient de dilatation thermique du remplissage, ainsi fondu, devenait notable en même temps que sa viscosité tombait rapidement, au point de permettre simultanément la production artificielle de plusieurs bulles dans une même inclusion.

A côté de la détermination de températures de remplissage, de tels essais pyrognostiques ouvrent une voie nouvelle à l'étude directe des propriétés physiques de laves. On peut aussi espérer que ces manipulations de « réanimation de magmas » apporteront, avec l'aide de microscopes de chauffage, des renseignements sur la cristallisation ignée en présence des agents minéralisateurs naturels.

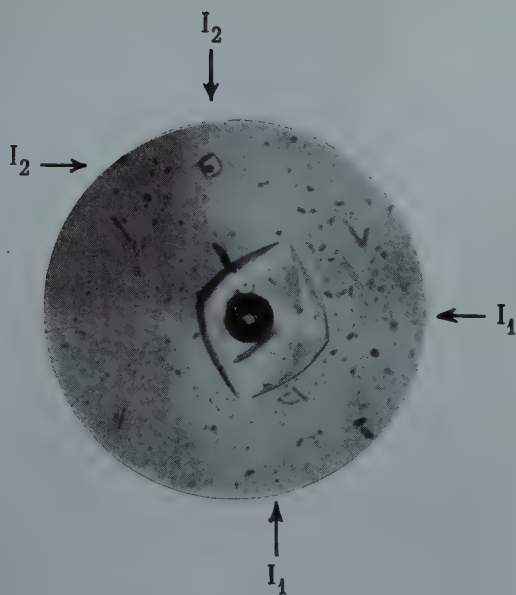


FIG. 1.

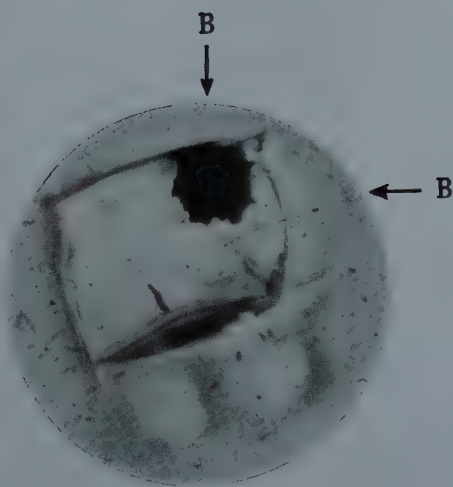


FIG. 2.

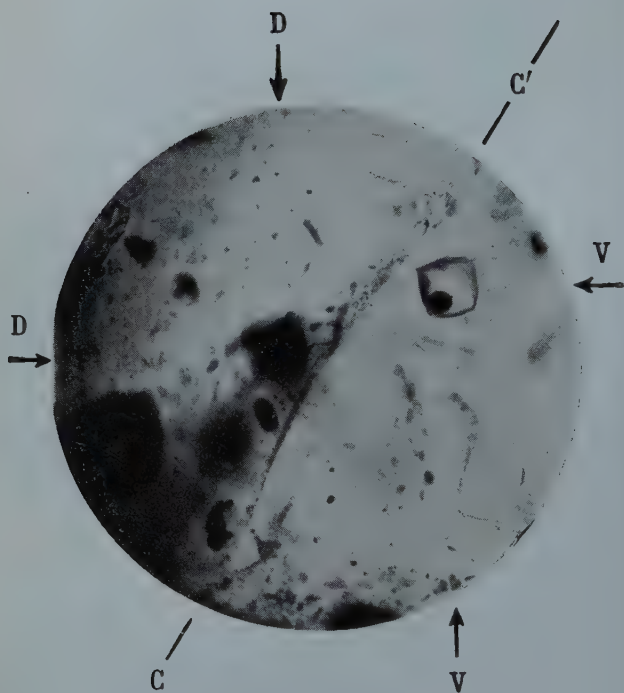


FIG. 3.

BIBLIOGRAPHIE

- BURLEY, H. E. (1951). — *Crystal growth*. Chapman & Hall, Londres.
- DEICHA, G. A. (1952). — *Bull. de la Dir. des Mines A. O. F.*, Dakar, 45, 433.
- DIETZEL, A. et SHEYBANY, M. A. (1948). — *Verre et réfractaires*, Paris, 2^e ann., 63.
- LOEWINSON-LESSING, F. (1899). — *C. R. de la VII session du Congrès Géologique international, Russie, 1897*, Saint-Petersbourg. *Mémoire XIII*.
- VOGELSANG, H. (1867). — *Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien*. Max Cohen u. Sohn, Bonn.
-

Légendes des planches I et II.

Les trois microphotographies représentent des inclusions vitreuses d'un phénocrystal de quartz d'un microgranite de Collo (Algérie). Échantillon D 52 de la Coll. Pétr. du Lab. de Minéralogie du Muséum National d'Hist. Naturelle de Paris.

PLANCHE I.

- fig. 1. — Au centre grande inclusion (I_1) avec grosse bulle sphérique, au-dessus seconde inclusion (I_2) beaucoup plus petite que la précédente. ($\times 250$).
- fig. 2. — Inclusion dont la bulle (B) a été recouverte par un dépôt solide : des pointements cristallins hérissent la surface de cette bulle en lui donnant l'allure d'un sphérolite. ($\times 250$).

PLANCHE II.

- fig. 3. — Cassure secondaire dont on reconnaît la ligne fine suivant un diamètre (C-C') de la microphotographie. A droite de cette cassure inclusion intacte, restée vitreuse (V), à gauche inclusions altérées, entièrement dévitrifiées apparaissant sous forme de taches obscures (telles que D). ($\times 75$).
-

CONSTANTES ÉLASTIQUES ET PIÉZOÉLECTRIQUES CRISTALLINES

PAR M. Y. LE CORRE,

Laboratoire de Physique théorique du Collège de France.

Sommaire. — La théorie de l'élasticité cristalline, reprise sur une base atomique par J. Laval, conduit à une équation des ondes acoustiques qui dépend en général de 45 coefficients élastiques. Nous avons retrouvé ce résultat par une théorie du milieu homogène, montrant également que le nombre des coefficients piézoélectriques distincts s'élève en fait à 27. Un tableau de ces coefficients est donné pour chacune des 32 classes de symétrie.

Théorie de Voigt.

On considère une déformation homogène dans un milieu en équilibre satisfaisant à la loi de Hooke. Prenons un repère trirectangle $\vec{O}\vec{\xi}_\alpha$ (les indices $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ courent de 1 à 3). Nous notons $T_{\alpha\gamma}$ les composantes de la densité tensorielle des efforts appliquée à un parallélépipède élémentaire. L'indice γ est associé à la projection de la normale à la surface qui subit l'effort compté algébriquement suivant $\vec{O}\vec{\xi}_\alpha$.

La théorie de Voigt (1910, 1918) est basée sur l'égalité fondamentale :

$$(1) \quad T_{\alpha\gamma} = T_{\gamma\alpha}.$$

On note $T_{\alpha\gamma} = X_r$

les indices r et s courent de 1 à 6 avec le tableau de correspondance suivant :

$\alpha\gamma$ ou $\gamma\alpha$	11	22	33	23	31	12
r	1	2	3	4	5	6

X_1, X_2, X_3 sont les contraintes normales,

X_4, X_5 et X_6 les contraintes tangentielles.

u_β étant la composante du déplacement d'un point de coordonnées ξ_α , on définit le tenseur des déformations par ses composantes :

$$(2) \quad t_{\beta\gamma} = \frac{\partial u_\beta}{\partial \xi_\gamma}.$$

On considère généralement les extensions x_1, x_2, x_3 , les glissements x_4, x_5, x_6 et les rotations $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ définis par les relations

$$\begin{aligned} x_1 &= t_{11} & x_2 &= t_{22} & x_3 &= t_{33} \\ x_4 &= t_{23} + t_{32} & x_5 &= t_{31} + t_{13} & x_6 &= t_{12} + t_{21} \\ \omega_1 &= \frac{t_{32} - t_{23}}{2} & \omega_2 &= \frac{t_{13} - t_{31}}{2} & \omega_3 &= \frac{t_{21} - t_{12}}{2} \end{aligned}$$

La densité d'énergie d'une déformation statique créée par un tenseur d'effort T ou un vecteur induction électrique \vec{b} ne dépend pas des rotations ω_α .

Les constantes élastiques et piézoélectriques de Voigt sont définies par les dérivées secondes de la densité d'énergie W (Born, 1923; Brilloüin, 1949).

$$(3) \quad C_{rs} = C_{sr} = \frac{\partial^2 W}{\partial x_r \partial x_s} = \frac{\partial X_r}{\partial x_s} = \frac{\partial X_s}{\partial x_r}$$

$$(4) \quad p_{ar} = - \frac{\partial^2 W}{\partial b_a \partial x_r} = \frac{\partial P_a}{\partial x_r} = - \frac{\partial X_r}{\partial b_a}$$

Un cristal triclinique hémicêtre possède 21 coefficients C_{rs} et 8 coefficients p_{ar} indépendants.

L'équilibre d'un solide est possible avec $T_{\alpha\gamma} \neq T_{\gamma\alpha}$.

La théorie de Voigt est basée sur l'égalité $T_{\alpha\gamma} = T_{\gamma\alpha}$ mais la démonstration que l'on donne de cette relation est fautive (Le Corre, 1953, a et b) : le tenseur des efforts est représenté sur la figure 1, par des vecteurs polaires, or seuls les tenseurs de rang 2 qui sont symétriques peuvent être représentés par des vecteurs polaires. Il faut représenter un tenseur antisymétrique par un vecteur axial. Considérons le solide parallélépipédique de la figure 2 : il est soumis à un couple superficiel (vecteur axial) sur la face

supérieure, à des efforts tangents (vecteurs polaires) sur les faces latérales. On constate que la condition d'équilibre d'un parallélépipède élémentaire n'exige pas $T_{12} = T_{21}$.

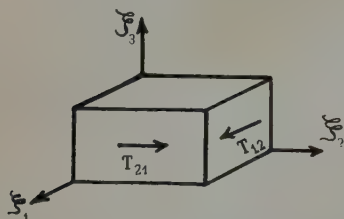


FIG. 1. — Tenseur des efforts représenté par des vecteurs polaires.

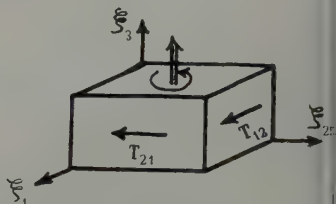


FIG. 2. — Parallélépipède soumis à un couple superficiel (vecteur axial) et à des efforts tangents (vecteurs polaires).

Il faudra donc considérer en général des tenseurs d'efforts et de déformations à 9 composantes distinctes que nous noterons avec un seul indice λ ou μ qui court de 1 à 9 avec le tableau de correspondance :

$\alpha \beta$	11	22	33	23	31	12	32	13	21
λ	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Les coefficients élastiques $\mathcal{H}_{\lambda\mu}$ et piézoélectriques $\mathcal{E}_{\alpha\mu}$ sont définis par les relations

$$(5) \quad \mathcal{H}_{\lambda\mu} = \frac{\partial^2 W}{\partial t_\lambda \partial t_\mu}.$$

$$(6) \quad \mathcal{E}_{\alpha\mu} = - \frac{\partial^2 W}{\partial b_\alpha \partial t_\mu} = \frac{\partial P_\alpha}{\partial t_\mu} = - \frac{\partial T_\mu}{\partial b_\alpha}.$$

Un cristal triclinique hémicêtre possède donc 45 coefficients élastiques et 27 coefficients piézoélectriques indépendants.

Élasticité dynamique.

L'élasticité cristalline dynamique classique est traitée à l'aide de 21 coefficients élastiques définis dans un cristal à l'équilibre statique. C'est une erreur grave, car un parallélépipède élémentaire peut posséder un moment cinétique non nul détruisant la symétrie du tenseur $T_{\alpha\gamma}$.

Il est aisé de reprendre la théorie de Christoffel avec les 45 coefficients $\mathcal{N}_{\gamma\mu}$. ρ étant la masse spécifique du cristal, il vient :

$$(7) \quad \rho \frac{\partial^2 u_\alpha}{\partial t^2} = \sum_{\gamma} \frac{\partial T_{\alpha\gamma}}{\partial \xi_\gamma} = \sum_{\gamma\beta\delta} \mathcal{N}_{\alpha\gamma, \beta\delta} \frac{\partial^2 u_\beta}{\partial \xi_\gamma \partial \xi_\delta}.$$

C'est l'équation de propagation de trains d'ondes planes. Posons :

$$(8) \quad u_\alpha = U_\alpha e^{i \left(\omega t - \frac{2\pi}{\Lambda} \Sigma_\gamma q_\gamma \xi_\gamma \right)}.$$

ω est la pulsation, Λ la longueur d'onde acoustique, \vec{U} le vecteur élongation de module maximum et \vec{q} un vecteur unitaire normal aux plans d'ondes. Il vient :

$$(9) \quad \rho \omega^2 U_\alpha = \frac{1}{\Lambda^2} \sum_{\gamma\beta\delta} \mathcal{N}_{\alpha\gamma, \beta\delta} q_\gamma q_\delta U_\beta$$

et si V est la vitesse de l'onde élastique :

$$(10) \quad V^2 U_\alpha = \frac{1}{\rho} \sum_{\gamma\beta\delta} \mathcal{N}_{\alpha\gamma, \beta\delta} q_\gamma q_\delta U_\beta.$$

Remarquons que les coefficients $\mathcal{N}_{\alpha\gamma, \beta\delta}$ et $\mathcal{N}_{\alpha\delta, \beta\gamma}$ sont multipliés par le même facteur $q_\gamma q_\delta$ et n'interviennent donc que par leur somme.

$$\mathcal{N}'_{\alpha\gamma, \beta\delta} = \frac{1}{2} (\mathcal{N}_{\alpha\gamma, \beta\delta} + \mathcal{N}_{\alpha\delta, \beta\gamma}).$$

Les coefficients $\mathcal{N}'_{\alpha\gamma, \beta\delta}$ sont les coefficients élastiques *dynamiques*, un cristal triclinique possède 36 coefficients dynamiques distincts. Cette théorie a été confirmée par l'étude

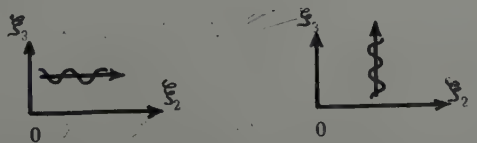


Fig. 3. — Les vibrations transversales ne se propagent pas à la même vitesse suivant l'axe binaire $0\xi_2$ et l'axe quaternaire $0\xi_3$.

expérimentale du phosphate monoammonique qui appartient à l'hémiédrie sphénoédrique quadratique et possède 7 coeffi-

cients dynamiques distincts. La théorie classique ne lui affectait que 6 coefficients élastiques et prévoyait que les vibrations transversales normales à $O\xi_1$, se propageaient à la même vitesse suivant l'axe binaire $O\xi_2$ et l'axe quaternaire $O\xi_3$ (fig. 3). Nous avons pu vérifier que ces vitesses sont différentes conformément à l'anisotropie du milieu et en accord avec l'équation (10).

Théorie atomique de l'élasticité.

J. Laval (1934 a et b) a repris la théorie atomique de l'élasticité de Max Born en précisant la nature tensorielle de toute grandeur élastique. Son étude porte sur le champ de force interatomique le plus général, c'est ainsi qu'il découvrit la nécessité d'introduire 45 coefficients élastiques au lieu des 21 coefficients de Voigt.

Nous ne pouvons pas exposer ici les théories de Born et de Laval mais il est utile de rappeler leurs résultats fondamentaux.

Born retrouvait la théorie classique de l'élasticité parce qu'il admettait que les forces entre atomes étaient centrales. Les coefficients $\mathcal{C}_{\alpha\gamma, \beta\delta}$ devenaient symétriques en α et γ et en β et δ . On avait le droit d'éliminer les composantes antisymétriques des tenseurs d'efforts et de déformation.

Un cas particulier intéressant est celui où tous les atomes d'un cristal sont situés en des centres de symétrie, le coefficient $\mathcal{C}_{\alpha\gamma, \beta\delta}$ était alors symétrique par rapport à ses 4 indices conformément aux relations supplémentaires de Cauchy.

$$\mathcal{C}_{\alpha\gamma, \beta\delta} = \mathcal{C}_{\beta\gamma, \alpha\delta} \text{ (ex. } \mathcal{C}_{23} = \mathcal{C}_{44}).$$

On sait que le champ de force dans un cristal n'est pas central. J. Laval montre que, dans ces conditions, les coefficients élastiques $\mathcal{N}_{\alpha\gamma, \beta\delta}$ ne sont symétriques qu'en $\alpha\gamma$ et $\beta\delta$. Il établit ainsi par une théorie atomique l'équation des ondes (10) que nous avons retrouvée par une théorie du milieu homogène. Dans le même cas particulier où tous les atomes sont situés en des centres de symétrie, il apparaît une symétrie supplémentaire en α et β et en γ et δ :

$$(11) \quad \mathcal{N}_{\alpha\gamma, \beta\delta} = \mathcal{N}_{\alpha\delta, \beta\gamma} \text{ (ex. } \mathcal{N}_{23} = \mathcal{N}_{47}).$$

La théorie du milieu homogène est incapable de fournir de telles égalités, seule la théorie atomique permet de tenir compte de la symétrie du champ interne. Appliquons à titre d'exemple une déformation statique à un cristal de chlorure de sodium. Le trièdre trirectangle est formé de 3 axes quaternaires. Supposons que seuls t_1, t_2 et $t_4 = t_7$ soient différents de zéro :

Théorie classique

Théorie de Laval

$$T_1 = C_{11}t_1 + C_{12}t_2 \quad T_1 = \mathcal{N}_{11}t_1 + \mathcal{N}_{12}t_2.$$

$$T_4 = T_7 = C_{44}(t_4 + t_7) \quad T_4 = T_7 = \mathcal{N}_{44}t_4 + \mathcal{N}_{12}t_7 = \frac{\mathcal{N}_{44} + \mathcal{N}_{12}}{2}(t_4 + t_7).$$

Les mesures statiques seront en accord dans les deux théories si l'on pose

$$\mathcal{N}_{11} = \mathcal{C}_{11} \quad \mathcal{N}_{12} = \mathcal{C}_{12} \quad \mathcal{N}_{44} = 2 \mathcal{C}_{44} - \mathcal{C}_{12}.$$

Mais si l'on étudie la propagation d'une onde plane transversale se propageant dans la direction de l'axe quaternaire dans le cristal infini, la théorie classique lui affecte la vitesse de propagation

$$V_c = \sqrt{\frac{C_{44}}{\rho}}$$

alors que cette vitesse est dans la théorie de Laval

$$V_L = \sqrt{\frac{\mathcal{N}_{44}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \mathcal{C}_{44} - \mathcal{C}_{12}}{\rho}}.$$

La théorie classique ne permet pas de traiter correctement la propagation d'un train d'onde plane.

Conclusions.

En statique il faut prendre en compte pour un cristal triclinique hémicêtre 45 coefficients élastiques et 27 coefficients piézoélectriques.

Si l'on applique un tenseur d'effort symétrique et si l'on étudie la déformation du cristal qu'à une rotation ω près la théorie classique suffit mais les coefficients de Voigt sont liés par des relations compliquées aux coefficients $\mathcal{N}_{\mu\lambda}$ et $\mathcal{E}_{\alpha\mu}$.

La propagation des ondes planes fait appel à 36 coefficients. Considérons le coefficient :

$$\mathcal{N}'_{12} = \frac{1}{2} (\mathcal{N}_{12} + \mathcal{N}_{69}).$$

On constate que les mesures dynamiques ne permettent pas de connaître les valeurs de \mathcal{N}_{12} et \mathcal{N}_{69} mais seulement leur somme.

On ne peut atteindre les modules de Poisson et les coefficients de compressibilité par l'étude des trains d'ondes planes (exception faite du cas particulier où tous les atomes du cristal sont situés en des centres de symétrie).

Appendice.

Tableau des coefficients élastiques et piézoélectriques de 32 classes de symétrie cristalline.

On a affecté à chaque classe une matrice B satisfaisant à relation

$$\begin{vmatrix} T \\ b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} B \end{vmatrix} \begin{vmatrix} t \\ P \end{vmatrix}$$

Afin de simplifier l'écriture, les éléments non nuls y seront représentés par leurs indices.

Les indices afférents à une grandeur électrique seront notés non pas 1, 2, 3, mais respectivement α , β , γ .

Ainsi 23, α 1 et β γ représentent les coefficients élastiques (\mathcal{N}_{23}) piézoélectriques (\mathcal{E}_{11}) et diélectriques (k_{23}).

Toutes les matrices analogues à B sont ainsi représentées par le même tableau.

On donne le numéro de la classe, son nom, sa notation dans le symbolisme de Mauguin-Hermann et le nombre de coefficients indépendants suivants :

constantes élastiques : statiques (S), dynamiques (D), et Voigt (V);

constantes piézoélectriques : dans le cas général (p), et théorie de Voigt (v).

Ces tableaux ont été calculés en se basant sur l'invariance des tenseurs dans les opérations de symétrie cristalline.

Nous donnons à part le tableau des constantes élastiques du milieu homogène et isotrope. Il faut introduire un troisième coefficient η en plus des coefficients de Lamé λ et μ .

T_1	$\lambda + 2\mu$	λ	λ						t_1
T_2		λ	$\lambda + 2\mu$	λ					t_2
T_3		λ		$\lambda + 2\mu$					t_3
T_4					$\mu + \eta$		$\mu - \eta$		t_4
T_5						$\mu + \eta$		$\mu - \eta$	t_5
T_6							$\mu + \eta$	$\mu - \eta$	t_6
T_7					$\mu - \eta$		$\mu + \eta$		t_7
T_8						$\mu - \eta$		$\mu + \eta$	t_8
T_9							$\mu - \eta$	$\mu + \eta$	t_9

Le coefficient η ne joue aucun rôle en élasticité statique si le tenseur des efforts est symétrique mais intervient en élasticité dynamique. La relation (II), analogue aux relations de Cauchy, s'écrit dans ce cas :

$$\lambda = \mu - \eta$$

BIBLIOGRAPHIE

- VOIGT, W. (1910). — *Lehrbuch der Krystallphysik*. Teubner, Berlin.
 VOIGT, W. (1918). — *Göttin. Nachr.*, 424.
 BORN (1923). — *Atomtheorie des festen Zustandes*, Teubner, Berlin.
 BRILLOUIN L. (1949). — *Les Tenseurs en Mécanique et en Élasticité*. Masson, Paris.
 LAVAL J. (1951, a). — *L'état solide* (Rapports et Discussions). Congrès Solvay Bruxelles : Stoops, 273.
 LAVAL J. (1951, b). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 232, 1947.
 LE CORRE, Y. (1953, a). — Thèse, Paris.
 LE CORRE, Y. (1953, b). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 236, 1903.

CLASSE 1 (1).

Hémiédrie énantiomorphe triclínique.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	$\alpha 1$	$\beta 1$	$\gamma 1$
12	22	23	24	25	26	27	28	29	$\alpha 2$	$\beta 2$	$\gamma 2$
13	23	33	34	35	36	37	38	39	$\alpha 3$	$\beta 3$	$\gamma 3$
14	24	34	44	45	46	47	48	49	$\alpha 4$	$\beta 4$	$\gamma 4$
15	25	35	45	55	56	57	58	59	$\alpha 5$	$\beta 5$	$\gamma 5$
16	26	36	46	56	66	67	68	69	$\alpha 6$	$\beta 6$	$\gamma 6$
17	27	37	47	57	67	77	78	79	$\alpha 7$	$\beta 7$	$\gamma 7$
18	28	38	48	58	68	78	88	89	$\alpha 8$	$\beta 8$	$\gamma 8$
19	29	39	49	59	69	79	89	99	$\alpha 9$	$\beta 9$	$\gamma 9$
$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$\alpha 5$	$\alpha 6$	$\alpha 7$	$\alpha 8$	$\alpha 9$	$\alpha \alpha$	$\alpha \beta$	$\alpha \gamma$
$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	$\beta 4$	$\beta 5$	$\beta 6$	$\beta 7$	$\beta 8$	$\beta 9$	$\alpha \beta$	$\beta \beta$	$\beta \gamma$
$\gamma 1$	$\gamma 2$	$\gamma 3$	$\gamma 4$	$\gamma 5$	$\gamma 6$	$\gamma 7$	$\gamma 8$	$\gamma 9$	$\alpha \gamma$	$\beta \gamma$	$\gamma \gamma$

$$S = 45 \quad D = 36 \quad V = 21 \quad p = 27 \quad v = 18.$$

CLASSE 2 ($\bar{1}$).

Holoédrie triclínique.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	$\alpha \alpha$	$\alpha \beta$	$\alpha \gamma$
12	22	23	24	25	26	27	28	29	$\alpha \beta$	$\beta \beta$	$\beta \gamma$
13	23	33	34	35	36	37	38	39	$\alpha \gamma$	$\beta \gamma$	$\gamma \gamma$
14	24	34	44	45	46	47	48	49			
15	25	35	45	55	56	57	58	59			
16	26	36	46	56	66	67	68	69			
17	27	37	47	57	67	77	78	79			
18	28	38	48	58	68	78	88	89			
19	29	39	49	59	69	79	89	99			

$$S = 45 \quad D = 36 \quad V = 21 \quad p = 0 \quad v = 0.$$

CLASSE 3 (2).

Hémiédrie énantiomorphe monoclinique.

11	12	13	15	18	$\beta 1$
12	22	23	25	28	$\beta 2$
13	23	33	35	38	$\beta 3$
	44	46	47	49	$\alpha 4$ $\gamma 4$
15	25	35	55	58	$\beta 5$
	46	66	67	69	$\alpha 6$ $\gamma 6$
	47	67	77	79	$\alpha 7$ $\gamma 7$
18	28	38	58	88	$\beta 8$
	49	69	79	99	$\alpha 9$ $\gamma 9$
	$\alpha 4$	$\alpha 6$	$\alpha 7$	$\alpha 9$	$\alpha \alpha$ $\alpha \gamma$
$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	$\beta 5$	$\beta 8$	$\beta \beta$
	$\gamma 4$	$\gamma 6$	$\gamma 7$	$\gamma 9$	$\alpha \gamma$ $\gamma \gamma$

$$S = 25 \quad D = 20 \quad V = 13 \quad p = 13 \quad v = 8.$$

CLASSE 4 (m).

Hémiédrie superposable monoclinique.

11	12	13	15	18	$\alpha 1$ $\gamma 1$
12	22	23	25	28	$\alpha 2$ $\gamma 2$
13	23	33	35	38	$\alpha 3$ $\gamma 3$
	44	46	47	49	$\beta 4$
15	25	35	55	58	$\alpha 5$ $\gamma 5$
	46	66	67	69	$\beta 6$
	47	67	77	79	$\beta 7$
18	28	38	58	88	$\alpha 8$ $\gamma 8$
	49	69	79	99	$\beta 9$
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 5$ $\alpha 8$	$\alpha \alpha$ $\alpha \gamma$
		$\beta 4$	$\beta 6$	$\beta 7$ $\beta 9$	$\beta \beta$
$\gamma 1$	$\gamma 2$	$\gamma 3$	$\gamma 5$	$\gamma 8$	$\alpha \gamma$ $\gamma \gamma$

$$S = 25 \quad D = 20 \quad V = 13 \quad p = 14 \quad v = 10.$$

CLASSE 5 $\left(\frac{2}{m}\right)$.

Holoédrie monoclinique.

11	12	13	45	48	
12	22	23	25	28	
13	23	33	35	38	
	44	46	47	49	
15	25	35	55	58	
	46	66	67	68	69
	47	67	77	79	
18	28	38	58	88	
	49	69	79	99	
					$\alpha\alpha$ $\alpha\gamma$
					$\beta\beta$
					$\alpha\gamma$ $\gamma\gamma$

$$S = 25 \quad D = 20 \quad V = 13 \quad p = 0 \quad v = 0.$$

CLASSE 6 (222).

Hémiédrie énantiomorphe
orthorhombique

11	12	13			
12	22	23			
13	23	33			
	44	47		$\alpha 4$	
	55	58		$\beta 5$	
	66	69		$\gamma 6$	
47	77		$\alpha 7$		
58	88		$\beta 8$		
69	99		$\gamma 9$		
			$\alpha 4$ $\alpha 7$	$\alpha\alpha$	
			$\beta 5$ $\beta 8$	$\beta\beta$	
			$\gamma 6$ $\gamma 9$	$\gamma\gamma$	

$$S = 15 \quad D = 12 \quad V = 9 \quad p = 6 \quad v = 3.$$

CLASSE 7 $(m \ m \ 2)$.

Hémiédrie pyramidale
orthorhombique

11	12	13		$\gamma 1$	
12	22	23		$\gamma 2$	
13	23	33		$\gamma 3$	
	44	47	$\beta 4$		
	55	58	$\alpha 5$		
	66	69			
	47	77	$\beta 7$		
	58	88	$\alpha 8$		
	69	99			
			$\alpha 5$ $\alpha 8$	$\alpha\alpha$	
			$\beta 4$ $\beta 7$	$\beta\beta$	
			$\gamma 1$ $\gamma 2$ $\gamma 3$	$\gamma\gamma$	

$$S = 15 \quad D = 12 \quad V = 9 \quad p = 7 \quad v = 5.$$

CLASSE 8 $\left(\frac{2}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}\right)$.

Holoédrie orthorhombique

11	12	13			
12	22	23			
13	23	33			
	44	47			
	55	58			
	66	69			
	47	77			
	58	88			
	69	99			
				$\alpha\alpha$	
				$\beta\beta$	
				$\gamma\gamma$	

$$S = 15 \quad D = 12 \quad V = 9 \quad p = 0 \quad v = 0.$$

CLASSE 9 ($\bar{4}$).

Tétartoédrie sphénoédrique
quadratique

11 12 13	16	-26	$\gamma 1$
12 11 13	26	-16	$-\gamma 1$
13 13 33	36	-36	
44 45	47	$\alpha 4 \beta 4$	
45 55	47	$\alpha 5 \beta 5$	
16 26 36	66	69	$\gamma 6$
47	55-45	$\beta 5-\alpha 5$	
47	-45 44	$-\beta 4 \alpha 4$	
-26-16-36	69	66	$\gamma 6$
<hr/>			
$\alpha 4 \alpha 5$	$\beta 5-\beta 4$	$\alpha \alpha$	
$\beta 4 \beta 5$	$-\alpha 5 \alpha 4$	$\alpha \alpha$	
$\gamma 1 -\gamma 1$	$\gamma 6$	$\gamma 6$	$\gamma \gamma$

$$S = 13 \quad D = 10 \quad V = 7 \quad p = 6 \quad v = 4.$$

CLASSE 10 ($\bar{4}$).

Tétartoédrie quadratique.

11 12 13	16	-26	$\gamma 1$
12 11 13	26	-16	$\gamma 1$
13 13 33	36	-36	$\gamma 3$
44 45	47	$\alpha 4 \beta 4$	
45 55	47	$\alpha 5 \beta 5$	
16 26 36	66	69	$\gamma 6$
47	55-45	$-\beta 5 \alpha 5$	
47	-45 44	$\beta 4-\alpha 4$	
-26-16-36	69	66	$\gamma 6$
<hr/>			
$\alpha 4 \alpha 5$	$-\beta 5 \beta 4$	$\alpha \alpha$	
$\beta 4 \beta 5$	$\alpha 5-\alpha 4$	$\alpha \alpha$	
$\gamma 1 \gamma 1 \gamma 3$	$\gamma 6$	$-\gamma 6$	$\gamma \gamma$

$$S = 13 \quad D = 10 \quad V = 7 \quad p = 7 \quad v = 4.$$

CLASSE 11 ($\bar{4}2 m$).

Hémiédrie sphénoédrique
quadratique

11 12 13			
12 11 13			
13 13 33			
44	47	$\alpha 4$	
55	47	$\beta 5$	
66	69	$\gamma 6$	
47	55	$\beta 5$	
47	44	$\alpha 4$	
69	66	$\gamma 6$	
<hr/>			
$\alpha 4$	$\beta 5$	$\alpha \alpha$	
$\beta 5$	$\alpha 4$	$\alpha \alpha$	
$\gamma 6$	$\gamma 6$	$\gamma \gamma$	

$$S = 9 \quad D = 7 \quad V = 6 \quad p = 3 \quad v = 2.$$

CLASSE 12 ($\bar{4}22$).

Hémiédrie énantiomorphe
quadratique

11 12 13			
12 11 13			
13 13 33			
44	47	$\alpha 4$	
55	47	$\beta 5$	
66	69	$\gamma 6$	
47	55	$-\beta 5$	
47	44	$-\alpha 4$	
69	66	$-\gamma 6$	
<hr/>			
$\alpha 4$	$-\beta 5$	$\alpha \alpha$	
$\beta 5$	$-\alpha 4$	$\alpha \alpha$	
$\gamma 6$	$-\gamma 6$	$\gamma \gamma$	

$$S = 9 \quad D = 7 \quad V = 6 \quad p = 3 \quad v = 4.$$

CLASSE 13 $\left(\frac{4}{m}\right)$.

Hémiédrie centrée quadratique.

11 12 13	16	-26	
12 11 13	26	-16	
13 13 33	36	-36	
44 45	47		
45 55	47		
16 26 36	66	69	
47	55-45		
47	-45 44		
-26-16-36	69	66	
			$\alpha\alpha$
			$\alpha\alpha$
			$\gamma\gamma$

$$S=13 \quad D=10 \quad V=7 \quad p=0 \quad v=0.$$

CLASSE 14 $(4 \ m \ m)$.

Hémiédrie pyramidale quadratique.

11 12 13				γ^1
12 11 13				γ^1
13 13 33				γ^3
44	47			β^4
55	47			α^5
66	69			
47	55			α^5
47	44			β^4
69	66			
				$\alpha\alpha$
				$\alpha\alpha$
				$\gamma^1 \ \gamma^1 \ \gamma^3$

$$S=9 \quad D=7 \quad V=6 \quad p=4 \quad r=3.$$

CLASSE 15 $\left(\frac{4}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}\right)$.

Holoédrie quadratique.

11	12	13			
12	11	13			
13	13	33			
	44		47		
	55		47		
		66		69	
	47		55		
	47		44		
		69		66	
					$\alpha\alpha$
					$\alpha\alpha$
					$\gamma\gamma$

$$S=9 \quad D=7 \quad V=6 \quad p=0 \quad v=0.$$

CLASSE 16 (3).

Té tartoédrie rhomboédrique

11 12 13 14-25 16 17-28-16	$\alpha^1-\beta^2 \ \gamma^1$
12 11 13-14 25 16-17 28-16	$-\alpha^1 \ \beta^2 \ \gamma^1$
13 13 33 36 -36	γ^3
14-14 44 45 28 47 28	$\alpha^4 \ \beta^4$
-25 25 45 55 17 47 17	$\alpha^5 \ \beta^5$
16 16 36 28 17 66* 25 14 69	$-\beta^2-\alpha^1 \ \gamma^6$
17-17 47 25 55-45 25	$-\beta^5 \ \alpha^5$
-28 28 47 14-45 44 14	$\beta^4-\alpha^4$
-16-16-36 28 17 69 25 14 66*	$-\beta^2-\alpha^1-\gamma^6$
<hr/>	
$\alpha^1-\alpha^1 \quad \alpha^4 \ \alpha^5-\beta^2-\beta^5 \ \beta^4-\beta^2$	$\alpha\alpha$
$-\beta^2 \ \beta^2 \quad \beta^4 \ \beta^5-\alpha^1 \ \alpha^5-\alpha^4-\alpha^1$	$\alpha\alpha$
$\gamma^1 \ \gamma^1 \ \gamma^3 \quad \gamma^6 \quad -\gamma^6$	$\gamma\gamma$

$$S=15 \quad D=12 \quad V=7 \quad p=9 \quad v=6.$$

$$66^* = 11-12-69.$$

CLASSE 17 ($\bar{3}$).

Hémiédrie centrée rhomboédrique.

11	12	13	14-25	16	17-28-16		
12	11	13-14	25	16-17	28-16		
13	13	33		36	-36		
14-14	44	45	28	47	28		
-25	25	45	55	17	47	17	
16	16	36	28	17	66*25	14	69
17-17	47		25	55-45	25		
-28	28		47	14-45	44	14	
-16-16-36	28	17	69	25	14	66*	
						xx	
						xx	
						yy	

S=15 D=12 V=7 p=0 v=0.
66*=11 — 12 — 60.

CLASSE 18 (32).

Hémiédrie énantiomorphe rhomboédrique

11	12	13	14		17		$\alpha 1$
12	11	13-14			-17		$-\alpha 1$
13	13	33					
14-14	44				47		$\alpha 4$
		55	17		47	17	$\beta 5$
		17	66*		14	69	$-\alpha 1$
17-17	47			55			$-\beta 5$
		47	14		44	14	$-\alpha 4$
		17	69		14	66*	$-\alpha 1-\gamma 6$
						$\alpha 1-\alpha 1$	$\alpha 4$
						$\beta 5-\alpha 1$	$-\alpha 4-\alpha 1$
						$\gamma 6$	$-\gamma 6$
						xx	
						xx	
						yy	

S=10 D=8 V=6 p=4 v=2.
66*=11 — 12 — 69.

CLASSE 19 (3 m).

Hémiédrie pyramidale rhomboédrique.

11	12	13	14		17		$-\beta 2$	$\gamma 1$
12	11	13-14			-17		$\beta 2$	$\gamma 1$
13	13	33						$\gamma 3$
14-14	44				47		$\beta 4$	
		55	17		47	17	$\alpha 5$	
		17	66*		14	69	$\beta 2$	
17-17	47			55			$\alpha 5$	
		47	14		44	14	$\beta 4$	
		17	69		14	66*	$-\beta 2$	
						$\alpha 5-\beta 2$	$\beta 4-\beta 2$	xx
						$-\beta 2$	$\beta 4$	xx
						$\gamma 1$	$\gamma 1$	yy

S=10 D=8 V=6 p=5 v=4.
66*=11 — 12 — 69.

CLASSE 20 ($\bar{3} \frac{2}{m}$).

Holoédrie rhomboédrique.

11	12	13	14		17			
12	11	13-14			-17			
13	13	33						
14-14	44				47			
		55	17		47	17		
		17	66*		14	69		
17-17	47			55				
		47	14		44	14		
		17	69		14	66*		
						xx		
						xx		
						yy		

S=10 D=8 V=6 p=0 v=0.
66*=11 — 12 — 69.

CLASSE 21 ($\bar{6}$).

Tétartoédrie triangulaire hexagonale.

11 12 13	16	-16	$\alpha 1 - \beta 2$
12 11 13	16	-16	$-\alpha 1 \beta 2$
13 13 33	36	-36	
44 45	47		
45 55	47		
16 16 36	66*	69	$-\beta 2 - \alpha 1$
47	55-45		
47	-45 44		
-16-16-36	69	66*	$-\beta 2 - \alpha 1$
$\alpha 1 - \alpha 1$	$-\beta 2$	$-\beta 2$	$\alpha \alpha$
$-\beta 2 \beta 2$	$-\alpha 1$	$-\alpha 1$	$\alpha \alpha$

$\gamma \gamma$

$S = 11 \quad D = 8 \quad V = 5 \quad p = 2 \quad v = 2.$
 $66^* = 11 - 12 - 69.$

CLASSE 22 ($\bar{6} \text{ m } 2$).

Hémiédrie triangulaire hexagonale.

11 12 13			$\alpha 1$
12 11 13			$-\alpha 1$
13 13 33			
44	47		
55	47		
66*	69		$-\alpha 1$
47	55		
47	44		
69	66*		$-\alpha 1$
$\alpha 1 - \alpha 1$			$\alpha \alpha$
	$-\alpha 1$	$-\alpha 1$	$\alpha \alpha$

$\alpha \alpha$

$S = 8 \quad D = 6 \quad V = 5 \quad p = 1 \quad v = 1.$
 $66^* = 11 - 12 - 69.$

CLASSE 23 (6).

Tétartoédrie hexagonale.

11 12 13	16	-16	$\gamma 1$
12 11 13	16	-16	$\gamma 1$
13 13 33	36	-36	$\gamma 3$
44 45	47		$\alpha 4 \beta 4$
45 55	47		$\alpha 5 \beta 5$
16 16 36	66*	69	$\gamma 6$
47	55-45		$-\beta 5 \alpha 5$
47	-45 44		$\beta 4 - \alpha 4$
-16-16-36	69	66*	$-\gamma 6$
$\alpha 4 \alpha 5$	$-\beta 5 \beta 4$		$\alpha \alpha$
$\beta 4 \beta 5$	$\alpha 5 - \alpha 4$		$\alpha \alpha$
$\gamma 1 \gamma 1 \gamma 3$	$\gamma 6$	$-\gamma 6$	$\gamma \gamma$

$S = 11 \quad D = 8 \quad V = 5 \quad p = 7 \quad v = 4.$
 $66^* = 11 - 12 - 69.$

CLASSE 24 (622)

Hémiédrie énantiomorphe hexagonale.

11 12 13			
12 11 13			
13 13 33			
44	47		$\alpha 4$
55	47		$\beta 5$
66*	69		$\gamma 6$
47	55		$-\beta 5$
47	44		$-\alpha 4$
69	66*		$-\gamma 6$
$\alpha 4$	$-\beta 5$		$\alpha \alpha$
$\beta 5$	$-\alpha 4$		$\alpha \alpha$
$\gamma 6$	$-\gamma 6$		$\gamma \gamma$

$S = 8 \quad D = 6 \quad V = 5 \quad p = 3 \quad v = 1.$
 $66^* = 11 - 12 - 69.$

CLASSE 25 $\left(\frac{6}{m}\right)$.

Hémiédrie centrée hexagonale.

11 12 13	16	-16
12 11 13	16	-16
13 13 33	36	-36
44 45	47	
45 55	47	
16 16 36	66*	69
47	55-45	
47	-45 44	
-16-16-36	69	66*

$\alpha\alpha$

$\alpha\alpha$

$\gamma\gamma$

11 12 13
12 11 13
13 13 33

44	47	$\beta 4$
55	47	$\alpha 5$
66*	69	$\alpha 5$
47	55	$\beta 4$
47	44	$\beta 4$
69	66*	
$\alpha 5$	$\beta 4$	$\alpha\alpha$
$\beta 4$	$\alpha 5$	$\alpha\alpha$
$\gamma 1$ $\gamma 1$ $\gamma 3$		$\gamma\gamma$

$S=11$ $D=8$ $V=5$ $p=0$ $v=0$.
 $66^*=11-12-69$.

$S=8$ $D=6$ $V=5$ $p=4$ $v=3$.
 $66^*=11-12-69$.

CLASSE 27 $\left(\frac{6}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}\right)$.

Holoédrie hexagonale.

11 12 13					
12 11 13					
13 13 33					
	44		47		
		55		47	
			66*		69
	47			55	
		47			44
			69		66*

$\alpha\alpha$

$\alpha\alpha$

$\gamma\gamma$

CLASSE 28 (23).

Tétartoédrie cubique.

11 12 12
12 11 12
12 12 11

44	47	$\alpha 4$
44	47	$\alpha 4$
44	47	$\alpha 4$
47	77	$\alpha 7$
47	77	$\alpha 7$
47	77	$\alpha 7$
$\alpha 4$	$\alpha 7$	$\alpha\alpha$
$\alpha 4$	$\alpha 7$	$\alpha\alpha$
$\alpha 4$	$\alpha 7$	$\alpha\alpha$

$S=8$ $D=6$ $V=5$ $p=0$ $v=0$.
 $66^*=11-12-69$.

$S=5$ $D=4$ $V=3$ $p=2$ $v=1$.

SUR UNE MÉTHODE RAPIDE D'ORIENTATION DES CRISTAUX DE CORINDON SYNTHÉTIQUE

PAR H. SAUCIER,

Laboratoire de Minéralogie et de Pétrographie
de l'Université de Strasbourg.

Sommaire. — Les cristaux artificiels de corindon se fendent suivant un plan qui dans 98 % des cas contient l'axe optique. L'observation en lumière monochromatique entre nicols croisés, des franges d'égal retard permet, à l'aide d'un coin de quartz de déterminer dans ce plan la position de n_p qui est celle de l'axe optique.

Les cristaux de corindon synthétique obtenus par la méthode de Verneuil se présentent sous forme de cylindres irréguliers, amincis à une extrémité. Leur orientation cristallographique par rapport à l'axe du cylindre est variable. Pour différentes applications, optiques ou autres il est utile de la connaître, qu'on veuille tailler des lames suivant une direction d'isotropie, ou qu'on cherche à donner à des pivots ou à des chapes l'orientation la plus favorable pour une usure minima.

Le corindon appartenant au système rhomboédrique, l'ellipsoïde des indices qui lui correspond est de révolution. L'examen optique d'un cristal ne permet donc de déterminer qu'une grandeur, qui est l'angle θ que fait l'axe optique avec une direction repère, par exemple avec la normale au plan de la lame cristalline. Pour achever de connaître l'orientation du cristal il faut utiliser les rayons X, comme l'a fait Winchell (1944). Mais c'est une méthode difficile et coûteuse ; bien souvent on pourra se contenter de connaître l'angle θ . Cette seule mesure de l'angle θ est rendue un peu délicate quand on opère sur les cristaux bruts, dont la forme est fort éloignée de celle d'une lame à faces parallèles.

D'autre part, les indices de réfraction de ce minéral étant $n_c = 1,761$ et $n_o = 1,769$, il est impossible de l'immerger dans un liquide dont l'indice soit voisin et qui soit d'un prix suf-

samment bas pour pouvoir être utilisé dans la pratique journalière.

Voici la solution que j'ai adoptée pour ce petit problème.

Les cristaux de corindon synthétique se fendent facilement, soit spontanément, soit en serrant la pointe dans une pince, soit en la frappant d'un coup de marteau. La cassure se fait dans 98 % des cas suivant une surface polie, à peu près plane et qui contient l'axe optique (H. Insley et autres, 1947). Ceci s'explique facilement : si l'on admet que le refroidissement est fait symétriquement par rapport à l'axe du cylindre, les tensions internes qui ont pris naissance à ce moment sont les mêmes surtout aux valeurs différentes du coefficient de dilatation suivant l'axe ternaire et suivant le plan perpendiculaire. Le plan contenant l'axe optique et l'axe d'allongement du cylindre sera alors plan de symétrie pour le phénomène et ce sera la région d'effort maximum.

Ceci posé, il est facile de déterminer entre nicols croisés les directions d'extinction de la « demi-boule ». Sa surface supérieure est suffisamment plane pour qu'on ne soit pas gêné par des réflexions parasites. La seule difficulté consiste à déterminer laquelle de ses deux directions d'extinction correspond à l'axe optique. Étant donnée l'épaisseur du cristal (10 à 20 mm.), il ne peut être question d'utiliser les franges de biréfringence et de les faire varier en intercalant une lame auxiliaire. En lumière blanche on ne voit sur toute la surface que du blanc d'ordre supérieur. Il faut utiliser une lumière approximativement monochromatique que donne une lampe à vapeur de sodium, placée de préférence derrière un écran diffusant. On voit alors, entre nicols croisés, à travers la surface du cristal, une série de franges sombres qui suivent les courbes de niveau de la surface inférieure bombée du cristal. Elles correspondent, bien entendu, aux points où le retard est égal à un nombre entier de longueurs d'onde.

Le cristal étant à l'éclairement maximum, on superpose un coin de quartz, dont les directions de vibration soient à 45° des directions de vibration des nicols. En faisant croître l'épaisseur de la partie du coin de quartz intercalée sur le trajet des rayons

lumineux, on voit le système de franges se dilater ou se contracter ; s'il se dilate, c'est que le point où se trouve réellement un retard $k \lambda$, point qui primitivement était au centre du cristal, se trouve maintenant rejeté vers le bord, donc vers une partie du cristal d'épaisseur moindre. Les retards se sont donc ajoutés et la direction n_g du coin de quartz est parallèle au bord du cristal. L'axe optique du cristal est donc à 90° de celle du quartz, puisque le signe optique du corindon est négatif.

Si le système de franges se contracte, c'est au contraire que la direction n_g du coin de quartz est dirigée suivant l'axe optique du cristal de corindon.

Pratiquement cette détermination peut se faire très rapidement, sans microscope, à l'aide d'un montage simple comprenant une platine tournant entre deux polaroïdes et un miroir.

BIBLIOGRAPHIE

- H. INSLEY, H. F. Mc MURDIE, W. H. PARSONS and B. P. STEIERMAN (1944). — *Amer. Miner.*, 32, 4.
H. WINCHELL (1944). — *Amer. Miner.*, 29, 399.
-

BIBLIOGRAPHIE

Les pierres précieuses, N. et A. METTA, Collection « Que sais-je ? » n° 592, éditeur : Presses Universitaires de France, Paris, 1953, 1 vol., 124 pages, 36 figures, 115×175 , prix : 150 francs.

Voulez-vous connaître la taille du diamant en rose d'Anvers, en demi-Hollande ou en briolette ? Voulez-vous apprendre ou lire les fabuleuses tribulations des quelques pierres incompatibles qui défraient la chronique et enrichissent la légende depuis des millénaires ? Voulez-vous savoir quels sont les facteurs qui interviennent dans l'estimation d'une pierre précieuse ? Lisez ce petit livre. Mais si vous êtes « minéralogue » (p. 83), cette lecture vous portera de surcroît bien d'autres surprises : vous verrez la base sagement orthorhombique p. 23, devenir hexagonale p. 58 ; vous apprendrez que le rutile est une variété de silice (p. 89) ; que le système hexagonal englobe les deux sous-systèmes trigonal et romboédrique (p. 23) ; que le diamant, le grenat et le spinelle peuvent être classés dans l'hémiédrie tétraédrique du système rhomboédrique (p. 23) ; que le corindon cristallise en « romboèdre hexagonal » (p. 72). Vous lirez p. 29 une très curieuse description du phénomène de la réflexion totale, et vous trouverez à la page 65, la structure du diamant, des raisonnements de grande fantaisie. Les auteurs sont sans doute plus familiers avec l'Histoire de la pierre qu'avec les traités, même très élémentaires, de physique ou de cristallographie.

La Collection « Que sais-je ? » nous avait habitués à des ouvrages de bonne et même souvent d'excellente tenue scientifique. Pourrions-nous ne pas continuer dans cette voie ?

H. CURIEN.

*
* *

Comptes rendus du premier Congrès International de Microscopie Electronique, Paris, 14-22 septembre 1950, mémoire hors série n° 1, publié par la Société française de Microscopie théorique et appliquée avec le concours du C.N.R.S., éditeur : Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, Paris, 1953, 1 vol., 68 pages, 798 figures, 155×245 , prix : 8.000 francs.

Il est permis de regretter le très long délai apporté à la parution de ce mémoire. Il est également regrettable d'avoir à subir une

nouvelle attente avant de connaître la suite de la dernière communication insérée dans le fascicule I ; celle-ci est en effet brusquement interrompue au milieu d'une phrase.

Il semble enfin que certains articles aient été traduits en français de façon peu claire ; citons, comme exemple, cette phrase extraite du mémoire 64a : « L'argile schisteuse réfractaire de Norod est remarquable par sa teneur élevée en argile qui ne peut même pas être comparée à la kaolinite (?), type d'argile silicatée la plus riche en argile (?) ».

Les subdivisions de l'ouvrage groupent les sujets en 5 sections dont les 3 premières seules sont exposées dans le fascicule I.

La conférence inaugurale de Finch représente moins une nouveauté au point, qu'une délimitation des questions importantes qui se posent aux spécialistes.

L'exposé général de Wyckoff passe en revue de façon très intéressante les études effectuées dans ses laboratoires sur les bactériophages et les virus.

Dans la section optique électronique les différents articles sont intelligemment groupés selon leur parenté. Notons les études sur la qualité des images de Françon (pouvoir séparateur), Gauthier (systèmes applicables aux microscopes à émission), Haine et Mayvey (utilisation des franges de diffraction comme objet test), Hill et Ellis (effet du potentiel d'accélération sur la qualité de l'image). Notons également la description du traceur automatique d'équivalentes construit au Collège de France (Lehman, Mochel et Salmon). Dans la même section trois articles intéressants sont consacrés à la réalisation pratique du microscope de Gabor (Reich et al.) : la construction de l'image d'un objet par l'intermédiaire des ondes diffractées). Citons encore les études sur les propriétés des lentilles magnétiques (Liebmann et Grad) ; le travail très intéressant de Castaing sur la construction d'une sonde à grande brillance. Les différents calculs sur les constantes des lentilles groupent un très grand nombre d'articles pour pouvoir les mentionner séparément.

La dernière partie de la section d'optique électronique comprend de nombreuses descriptions d'appareils, tels que microscopes diffracteur combiné (Cosslett et Jones), nouveau type de microscope (Grivet et Regenstreif) ou de microscope à émission (Sepr et Gauzit) et description du microscope protonique (Magnan).

La seconde section est consacrée à la diffraction électronique. Il est impossible, à moins d'énumérer la liste complète des auteurs, de donner une idée d'ensemble des résultats exposés. Des problèmes très divers ont été traités ; depuis l'étude des bioxydes de manganèse (Brenet, Forestier et Boissier) jusqu'à l'étude des films minces d'alumine obtenus par oxydation anodique (Trillat et Tertian).

La troisième section (Métallurgie) appelle le même genre de remarques. Cependant, bien que le lecteur ait avantage à se reporter aux mémoires cités pour les détails ; on peut extraire de l'ensemble un certain nombre de méthodes générales intéressantes, concernant les répliques de surfaces métalliques. A quelques articles de fond, apportant des résultats précis et nouveaux, ajoutent un certain nombre de redites, inévitables dans un ouvrage.

Signalons pour terminer quelques articles ne traitant pas généralement de répliques, mais présentant des applications intéressantes de l'analyse chimique locale par sonde électronique (Cassidy), de la diffraction de cristal unique (Raether) ou de l'emploi du microscope à émission (Rathenau).

La dernière section, d'ailleurs incomplète, est celle des applications chimiques ; elle est malheureusement et de loin la plus médiocre. Il semble que l'effort majeur en microscopie électronique se soit porté et se porte encore, plus sur les appareils eux-mêmes que sur leur utilisation pratique. Il est juste de faire exception pour la métallurgie. L'explication semble évidente, car il y a là un centre d'intérêt déjà ancien où le microscope électronique ne fait qu'étendre et approfondir le champ du microscope métallographique.

Au contraire les applications dites chimiques se rapportent à innombrables activités sans liens entre elles, sans armature préalable et pour lesquelles le microscope n'est encore qu'un jouet coûteux, et pas toujours employé judicieusement.

Un article intéressant est celui de Ellis. Il comporte une discussion générale des méthodes de préparations et détermine les précautions à prendre dans le choix et le traitement d'un échantillon à examiner pour assurer la reproductibilité des résultats. Enfin nous citerons encore le beau travail de Muller sur la visualisation d'atomes isolés et de molécules.

A. OBERLIN.

*
**

Structure of metals, Crystallographic Methods, Principles, and Data, C. S. BARRETT, éditeur : Mc Graw-Hill, Londres, 1952, 2^e édition, 1 vol., 661 pages, 392 figures, 150 × 235, prix : 72 sh.

Dès sa première édition le livre de C. S. Barrett a été considéré par les métallurgistes et les cristallographes comme un « classique ». Ses dix ou vingt qu'il est agréable et commode de garder à portée de la main.

Sa clarté de présentation et l'abondance des renseignements qu'il contient ont été augmentées dans cette seconde édition. On

y appréciera, entre autres, le chapitre sur les dislocations qui un exposé large et bien illustré de ce domaine nouveau recherches si actives et fructueuses.

Le livre est assez bien équilibré pour pouvoir intéresser dans ensemble à la fois métallurgistes et cristallographes : il ne porte pas de développement trop long sur des sujets spéciaux métallurgie, ni sur des techniques particulières à la radiocristallographie.

La densité, l'équilibre et la belle présentation de ce livre référence justifient son grand succès.

H. CURIEN.

*
* *

RINNE-BEREK. — *Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop*. Zweite, völlig umgearbeitete Auflage von MAX BEREK. Herausgegeben von C. H. CLAUSSEN, A. DRIESEN und S. ROSCH. I-XIII, 1-366 pages — 285 figures et reproductions photographiques, 21 tableaux. Photographies von F. RINNE et von M. BEREK. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1953. — Prix 29. — DM, relié.

La première édition de cet ouvrage écrit par F. Rinne et M. Berek a paru en 1934, chez Jänecke, Leipzig. Berek était décédé en 1949, C. H. Claussen, A. Driesen et S. Rosch, ses collaborateurs aux Établissements Leitz, ont assumé la tâche délicate d'achever la rédaction de ce livre et de le faire paraître.

Contrairement à ce que pourrait faire croire la mention « völlig umgearbeitete », cette deuxième édition est loin d'être une refonte totale de la première. L'influence de Rinne subsiste encore, d'où le caractère hybride de ce livre composé de chapitres les uns très intéressants, les autres fort médiocres : ceux qui avaient été rédigés par Rinne dans la première édition.

Ce « guide » est divisé en deux parties, d'à peu près même nombre de pages chacune (la première édition, moins volumineuse ne comportait pas de divisions). La première partie, après quelques généralités sur la lumière et les milieux isotropes et anisotropes, traite : des moyens de production de la lumière polarisée, du microscope polarisant, de la microphotographie et de la microprojecteur. Les phénomènes en lumière transmise (polarisée parallèlement — les rapports entre les propriétés optiques et la structure moléculaire — les mesures simples au microscope polarisant en lumière parallèle, terminent cette première partie.

La deuxième partie traite de la projection stéréographique des pôles — de l'indicatrice optique et de ses rapports avec la morphologie des cristaux — de la lumière convergente en lumière

ansmise — de la détermination de l'indicatrice en lumière transmise par les méthodes classiques et au moyen de la platine universelle — des observations et mesures en lumière réfléchie : incidence normale et incidence oblique. Des listes de substances diverses pour manipulations terminent cette deuxième partie.

A la fin de l'ouvrage, la table alphabétique (matières et auteurs) indique les dates de naissance et éventuellement de décès des auteurs cités, même s'il ne s'agit que d'une modeste collaboration à la fabrication d'un appareil mis en vente par Leitz. Ces données figurent dans le texte lorsqu'il s'agit d'une découverte fondamentale. Par exemple, à propos des lois de la réfraction simple : W. Snellius van Roijen, 1591-1626, erst 1662 publiziert (ce qui justifie l'attribution à Descartes de la découverte de ces lois — 1636 — comme on le fait en France).

Les généralités du début mettent bien en évidence la distinction entre les directions de propagation normale et effective. Ces données permettent de passer sans difficulté à l'indicatrice optique (qui, dans la première édition, était traitée immédiatement après les généralités). Le microscope polarisant est décrit avec beaucoup de détails (plus que les polariseurs eux-mêmes). La correction de l'anastigmatisme due à l'analyseur est signalée. Le contraste de phase n'est pas mentionné. Le chapitre traitant de la microphotographie et de la microprojection sera particulièrement utile à beaucoup de lecteurs.

Ce qui a trait au pouvoir rotatoire est peut-être suffisant pour le géographe ou le biologiste mais certainement pas pour le chimiste qui n'examine pas des sections minces mais dispose de cristaux entiers. Ce qui est dit du pouvoir rotatoire des biaxes laisse désirer sous tous les rapports.

Au début du chapitre traitant de la cristallographie géométrique, Laüy est cité (tripérioricité) mais ne l'est plus à propos de la loi des « indices rationnels ». Aucun nom d'auteur non plus à propos de la loi de la constance des angles. Aucune allusion à la notation Hermann-Mauguin. La classification utilisée est celle de Rinne, qui ne se recommande pas d'elle-même. On peut s'étonner de voir la sylvine figurer encore comme exemple d'hémiédrie holoaxe, à propos des figures de corrosion (l'influence de la symétrie du milieu n'est pas envisagée).

Le chapitre relatif aux macles est vieillot. Elles ne sont définies que par des rotations de 180° autour de la normale à la face commune (plan de macle) ou autour d'une arête commune (axe de macle). Il ne suffit pas de dire à un débutant qu'en général les macles de cristaux biréfringents se reconnaissent immédiatement entre nicols croisés, encore faut-il que la section s'y prête.

La classification des roches, ainsi que quelques autres sujets dans le chapitre traitant de l'influence des conditions de formation sur les propriétés morphologiques et optiques des cristaux pourraient être remplacée avantageusement par des comparaisons de structure ou de texture tirées des études chalcographiques avec celles provenant de travaux sur les corps transparents. Par exemple : macles de la boracite ou de la leucite et celles de la chalcosine ou de la sitaparite (Schneiderhöhn) — myrmékit-quartzofeldspathique et myrmékit-chalcoppyrite — stannite (Ramdohr). Le débutant comprendrait ainsi que la chalcographie est la pétrographie des minerais, ce qui n'apparaît nullement dans ce livre.

À propos de sphérolites (qui ne sont pas forcément cristallisés) n'est pas question des « fibres tordues ». Les pseudomorphoses « von Ton nach Orthoklas » sont indiquées comme étant en hydrargillite $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ranger les absorptions de substances variées par les zéolithes parmi les pseudomorphoses paraît pour le moins singulier.

Il est regrettable de voir figurer (p. 134 et p. 350), les corps mésomorphes parmi les « Parakristalle ». Ce terme — assez mal choisi d'ailleurs — ne s'applique pas à ces substances. Friedel a créé le terme « mésomorphe » afin de caractériser leur particularités structurales et la réversibilité bien définie de leurs diverses transformations. Aucune classification, aucune description, aucune citation d'auteurs. Lorsqu'on a vu les nombreuses pages de calculs auxquels se sont livrés Friedel et Grandjean pour déchiffrer les coniques focales des corps nématiques, on est scandalisé de lire que les paracristaux ont les propriétés optiques des cristaux uniaxes. Les exemples cités pour manipulations sont décrits d'une façon à décourager à jamais un chercheur éventuel.

On aurait aimé voir des applications de la « biréfringence de tension » (Mesnager). La « biréfringence de texture » aurait gagné à être plus développée; le seul ouvrage cité est celui de Schmiegelow (1924). Il n'est pas question de Wiener, Ambronn, Frey-Wissling. La « biréfringence d'écoulement », si importante pour l'étude des grosses molécules méritait un plus ample développement.

Le chapitre décrivant les mesures en lumière parallèle est très bien conçu et décrit des appareils assez peu connus, comme le microréfractomètre de Jelley. On peut regretter que le compensateur de Wright, appareil à mesure directe et dont la précision est bien suffisante pour la pétrographie, n'ait pas été décrit. Cette description aurait avantageusement remplacé les tables de la fonction de compensation du compensateur de Berek, lesquelles tables sont fournies avec l'instrument.

La deuxième partie est plus homogène que la première. L'étude des rapports de l'indicatrice avec la morphologie des cristaux et

sez poussée. Il ne s'agit d'ailleurs pas de morphologie mais de métrie (quelques indications sont données sur les rapports entre morphologie — véritable ou microtomique — et la position de l'indicatrice à propos de la platine universelle). Les rapports structure cristalline — propriétés optiques ne sont pas signalés. Les phénomènes d'absorption dans les biaxes sont exposés avec clarté. Il est de même de la dispersion des axes, qui, ainsi présentée, est en plus facile à comprendre que lorsqu'on la traite à propos de lumière convergente, qui n'est qu'un procédé commode de mise en évidence du phénomène. (Les données de la p. 108 : existence seulement du centre de symétrie pour les propriétés optiques en lumière blanche dans le cas des cristaux tricliniques, du centre, d'un seul plan et d'un seul axe dans le cas des cristaux monocliniques seraient plus à leur place ici).

Ce qui a trait à la lumière convergente se lit avec facilité, les propriétés peu connues des biaxes absorbants sont illustrées par de bonnes photos. Les divers cas d'orientation des sections biaxes par rapport à la trace des axes optiques sont étudiés en détail, un peu trop même pour une « Anleitung ».

Le chapitre exposant les principes et le mode d'emploi de la platine universelle (sans exemple d'application pratique) est un clair résumé de l'ouvrage de Berek sur ce sujet. Les fonctions de Berek caractéristiques de l'extinction et de la biréfringence, sont un outil précieux pour le pétrographe.

Les 50 pages consacrées à l'examen des cristaux opaques ou absorbants en lumière réfléchie sont écrites par un éminent théoricien de cette question. L'importance du croisement exact des nicols est mise en évidence. Il n'est pas question des méthodes de mesure photoélectriques du pouvoir réflecteur (le lecteur français le documentera dans les publications d'Orcel et de Capdecombe). L'utilisation possible de la lumière convergente n'est pas indiquée. D'intéressants procédés de mesures d'indice de réfraction en lumière réfléchie oblique, au moyen de la platine universelle, par transmission ou par réflexion pour les corps opaques ou très absorbants sont décrits.

Les appareils reproduits sont construits par les Établissements Zeitz. La préface de la première édition, réimprimée dans la deuxième, indique les autres constructeurs allemands d'appareils polarisants (1934).

La présentation de l'ouvrage est excellente, beaucoup de figures ont été redessinées. Quelques petites fautes d'impression : p. 319 : Merkrege. — p. 330, mmer au lieu de immer — p. 104, la fig. 101 est tournée de 90° par rapport à son orientation habituelle.

R. WEIL.

*
*
*

Les minéraux et les roches, par H. BUTTGENBACH 8^e édition éditée avec la collaboration de : J. MELON, éditeur : Dunod, Paris 1953, 1 vol., 763 pages, 613 figures, 155 × 245.

Un long préambule n'est, certes, pas nécessaire, pour présenter aux minéralogistes français, la dernière édition de l'ouvrage du professeur Buttgenbach : *Les minéraux et les roches*. L'épuisement rapide des différentes éditions a montré tout l'intérêt de ce livre pour les étudiants et les chercheurs.

Dans la préface de ce manuel, l'auteur annonce qu'il n'a bien voulu publier cette nouvelle édition qu'avec la collaboration de son successeur, le professeur Melon, à charge pour celui-ci d'apporter les modifications rendues nécessaires par le développement de la science minéralogique.

Cette mise à jour porte sur les points suivants :

Dans la première partie de l'ouvrage, traitant des propriétés des minéraux, si l'on excepte la disparition du chapitre donnant des notions générales de chimie, on trouve surtout des modifications de détail : les suppléments joints à la septième édition sont intégrés dans le texte, le chapitre concernant les macles est modernisé et une courte notice biographique infrapaginale accompagne chaque nom de minéralogiste cité.

Dans la deuxième partie, on peut remarquer dans le chapitre I (Pétrographie), des compléments importants sur les structures des roches et un paragraphe nouveau sur la classification des magmas (p. 334-54).

Mais c'est surtout dans la troisième partie, concernant la Minéralogie descriptive, que l'on trouve les différences les plus importantes. Comme classification, l'auteur adopte celle du *Dana's System of Mineralogy* (7^e édition), sauf pour la silice et les silicates qui sont classés suivant leur structure :

- 1^o Assemblages tridimensionnels (tectosilicates).
- 2^o Structures feuilletées (phyllosilicates).
- 3^o Structures en chaîne (inosilicates).
 - a) Chaînes simples (métasilicates).
 - b) Chaînes doubles.
 - c) Chaînes quadruples.
- 4^o Structures en anneaux (cyclosilicates).
 - a) Anneaux triangulaires.
 - b) Anneaux hexagonaux.
- 5^o Liaisons par un seul sommet (sorosilicates).
- 6^o Tétraèdres de silice isolés (nésosilicates).

Dans la description des espèces minérales, les faces cristallographiques sont notées d'après les systèmes de Lévy et de Miller; certaines espèces minérales discréditées ne sont plus décrites. Quelques erreurs de détail sont à signaler, par exemple p. 419, une confusion fait de l'uranospinite, un arséniate et de l'uranocircite, un phosphate, p. 542-3 l'érythrite et l'annabergite sont considérées comme des produits d'altération des sulfures de cobalt ou des sulfures de nickel.

De nombreux tableaux didactiques, permettant de déterminer les espèces décrites, terminent cet ouvrage, qui connaîtra comme les éditions précédentes, un succès bien mérité.

C. GUILLEMIN.

*
**

Statistische Zusammenstellungen über Aluminium, Blei, Kupfer, Zink, Zinn, Kadmium, Nickel, Quecksilber und Silber, Metallgesellschaft A. G., Frankfurt am Main, 1953, 1 vol., 238 pages, 210 × 290.

Ce recueil de statistiques comporte une longue introduction qui montre par des tableaux et des graphiques le développement des industries d'extraction et de transformation depuis 1900. Dans un important paragraphe, les progrès des techniques minières et métallurgiques sont exposés, en insistant surtout sur la flottation et les autres méthodes d'enrichissement, qui permettent de traiter des minerais de plus en plus pauvres.

Ensuite on trouve les tables de statistiques qui sont divisées en trois groupes :

- 1° Production des minerais et du métal pour tous les pays.
- 2° Importation et exportation pour chaque pays des minerais et métaux.
- 3° Prix des produits sur les marchés intérieurs et internationaux.

Ces statistiques très complètes peuvent rendre de grands services aux économistes et aux métallurgistes.

C. GUILLEMIN.

*
**

Les rayons X, par A.-J. Rose, Extrait de *Techniques Générales du Laboratoire de Physique*, vol. 3, chap. 19, publié sous la direction de J. Surugue, éditeur : C. N. R. S., Paris, 1951, 1 vol., 148 pages, 93 figures, 11 tableaux. 160 × 240, prix : broché, 2.700 fr.

Les techniques de rayons X, formant le XIX^e chapitre des techniques générales du Laboratoire de Physique de Surugue, sont

exposées par A.-J. Rose. Ce travail se subdivise en trois chapitres :

I. — Production des rayons X.

II. — Leurs propriétés fondamentales.

III. — Leurs applications (limitées à la détermination des structures des minéraux).

I. — Dès le début, l'exposé nous montre ce qu'est le fond continu des rayons X émis par un tube, comment il varie en fonction de la tension et de l'optique du faisceau électronique. Ce texte illustré à l'aide de figures adéquates à ce sujet et non découpées dans différents ouvrages sans liaison directrice. Nous trouvons dans le tableau I, les rayonnements caractéristiques les plus usuels dont les longueurs d'onde sont indiquées en unités X et en unités Angström. D'autre part le texte relatif à ce tableau mentionne les rapports des intensités $\lambda K\alpha_1/\lambda K\alpha_2/\lambda K\beta_1 = 100 : 50 : 25$. Certes n'y a rien d'absolu dans ces chiffres, mais néanmoins, nous avons une idée de ces rapports ce qui est appréciable, car un certain nombre d'auteurs passent le fait sous silence. Une dizaine de pages illustrées sont consacrées aux générateurs des rayons X. Un tube à rayons X est décrit et accompagné d'une figure portant la légende de chaque pièce (grâce à cette précaution le texte technique est facile à saisir même par un débutant). Quelques considérations relatives à la charge « spécifique » de l'anticathode, à la netteté du foyer, au dépôt du tungstène et l'application d'une lentille électrostatique forment un ensemble utile. La description des générateurs de haute tension, abondamment illustrée, termine ce paragraphe d'intérêt pratique.

II. — Les propriétés fondamentales des rayons X (diffusion, absorption, rayonnement de fluorescence, ionisation des gaz et effet photographique) sont exposées succinctement et illustrées. Ajoutons qu'il serait utile que la deuxième édition contienne plus de détails sur les calculs relatifs à l'affaiblissement de l'intensité des rayons X par un filtre composé d'une feuille métallique ou bien d'un écran formé d'un oxyde métallique. Signalons que la figure 2 gagnerait en clarté si l'on indiquait plus nettement l'emplacement des discontinuités K de l'Ag et du Br. En outre il vaut mieux insister sur la figure 30. Indiquons à propos des figures 31 et 32 qu'il existe un bon exposé parfaitement illustré par John Egge (*Introduction à la photographie radiologique*, Berlin, 1931, p. 224 de la traduction française). L'excitation de la fluorescence et l'action sur les tissus vivants fait l'objet de la fin du chapitre. Le lecteur trouvera là des indications sommaires, mais utiles relatives à l'effet biologique des rayons X : le chercheur est formé de ce

les vivantes où les rayons X libèrent de l'énergie tout comme lorsqu'il traversent la matière inerte, et il est imprudent de négliger ces aspects (p. 98-100).

III. — Parmi les applications, des rayons X, la production de rayons X « monochromatiques », est celle qui a rendu le plus de services à la minéralogie et à la cristallographie (abstraction faite ici, des services inestimables rendus à la médecine). Le tableau 2 résume les anticathodes et les filtres usuels ainsi que le facteur de transmission pour la raie $K\alpha$ (signalons, pour que le principe du filtre apparaisse plus clairement il conviendrait peut-être de réduire et redessiner la fig. 32). Les radiographie et radioscopie sont bien illustrées de sorte qu'il est facile d'en saisir les traits essentiels. Je crois que l'exposé sur l'analyse par absorption gagnerait, si l'on introduisait un ou deux exemples typiques, ce qui serait d'autant mieux que cette branche se développe rapidement ainsi que celle de l'analyse par les spectres d'émission. Le paragraphe sur les propriétés de la diffraction contiennent les notions essentielles (sur la fig. 41, il faut corriger les crochets en parenthèses). Je pense que l'obtention de la poudre à la lime peut introduire une erreur sur la pureté de l'échantillon. En effet Nodolack (à qui nous devons la découverte du Rhénium) a montré que les spectres d'émission des rayons X décelaient facilement les traces du métal avec lequel un objet était usiné, de telle sorte qu'au bout d'un certain temps d'étude il parvenait à classer les différents objets archéologiques d'après le lieu de leur usinage. D'autre part il suffit de donner « un coup » de lime sur la pastille de tungstène de l'anticathode pour avoir l'émission $K\alpha_1, \alpha_2\beta$ du Fer. La formation d'un voile au centre du cliché des rayons X, par suite de la construction défectueuse du collimateur, est illustrée par la fig 49 a. Les pages 108 et 109 sont consacrées aux réglages qu'il faut effectuer avant d'obtenir un diagramme convenable, le déchiffrement des diagrammes, leur réalisation sans ou avec monochromateur; les chambres spéciales et quelques applications de la méthode des poudres forment un ensemble bien cohérent et pratique. La méthode du cristal tournant est suffisamment développée dans une dizaine de pages. La perspective de la page 75 n'est pas très claire. Quant au développement en séries de Fourier, l'exemple du cobalt triéthylène diamine met bien en évidence la complexité de la projection de Fourier-Bragg. Mais il serait peut-être souhaitable (du point de vue pédagogique), d'exposer tout d'abord la recherche d'une structure simple (par exemple NaCl ou MgO). Sur la fig. 84, représentant un cliché obtenu avec un fil d'aluminium étiré, il serait très instructif de faire figurer les indices correspondant aux zones renforcées (cela aiderait beaucoup les débutants). L'exposé de la

méthode de Laue termine le travail de A.-J. Rose. Je constate qu'il n'a pas commis l'erreur générale, de nous « épouvanter » par un diagramme plus ou moins bien réussi de beryl ou d'un autre cristal hexagonal où l'on voit, même très mal, l'axe d'ordre 6. Il ne montre le diagramme simple de KCl, avec des indices hkl .

L'appendice est composé par onze tableaux très utiles au chercheur (où manque peut-être le tableau de Mendéléïev) : facteurs de structure atomique, coefficient μ/ρ , longueurs d'onde (séries α et $L...$), énergie de liaison, angles de liaison, rayons de covalence et rayons ioniques. Un important tableau donne les intervalles réticulaires d_{hkl} pour les diagrammes de poudres et les périodes pour le cristal tournant, en fonction des distances mesurées sur les spectres obtenus avec des chambres de 180 et 240 mm. de diamètre, pour les rayonnements $K\alpha$, de Ag, Rh, Mo, Cu, Cr, Fe et Co.

En terminant, je souligne que ce livre simple, concis et pratique, destiné aux travailleurs de laboratoire leur rendra de très grands services.

C. KURYLENKO.

*
* *

Le titane et ses composés dans l'industrie, par M. DÉRIBÉRE, éditeur : Dunod, Paris, 1954, 2^e édition, 1 vol., 276 pages, 59 figures, 18 tableaux, 135 × 245, prix : broché : 1.650 fr

Le titane n'est pas un élément rare puisque l'écorce terrestre en renferme de 0,33 (Clarke) à 0,60 % (Fersman). Le titane, répandu dans le sol, est absorbé par les plantes et, de ce fait, il se trouve dans le corps humain et chez les animaux. On le signale dans les cendres volcaniques, dans les différents minerais, dans les bauxites et dans les diverses roches volcaniques de sorte que les sources naturelles de titane sont très variées et étendues.

Aujourd'hui le titane prend un essor nouveau dans de nombreuses branches industrielles ; c'est le thème du livre de M. Maurice Déribéré : *Le titane et ses composés dans l'industrie*.

Les origines, les sources naturelles, le traitement des minerais ainsi que les composés inorganiques et organiques du titane forment l'objet des trois premiers chapitres de ce livre. L'obtention du titane pur est l'objet du 4^e chapitre, renfermant quatre tableaux : un schéma de fabrication et une nombreuse bibliographie ; la métallurgie du titane et de ses alliages est exposée au 5^e chapitre. La fabrication des pigments et de la peinture à base de titane forme trois chapitres (VI, VII et VIII) où l'auteur passe en revue les différentes caractéristiques du bioxyde de titane et ses diverses applications industrielles.

Le « matage » en filature (textiles artificiels) par incorporation de pigments fins de titane donne des fibres fortement « matées », solides. En outre les pigments au bioxyde de titane constituent d'excellentes charges blanches pour matières plastiques où ils ont l'avantage de n'introduire que des doses relativement faibles de matière minérale au produit qui conserve ainsi toutes ses qualités.

Les pigments de titane ont pris un grand développement dans l'industrie du caoutchouc et du papier ainsi que dans la teinture et l'impression.

Les propriétés thérapeutiques et dermatologiques du titane et de ses composés forment le 14^e chapitre. Le titane occupe aussi une part importante dans l'art de l'émaillage sur tôle, parce que ses sels donnent non pas exclusivement l'opacité, mais agissent comme pigments colorants, en accentuant le rouge de fer, virant le cobalt au vert et donnant le bleu par réduction. L'application des composés du titane dans la céramique termine le XV^e chapitre.

Les verres au titane et le scellement « verre-métal » ou « céramique-métal » à l'hydruide de titane forment les chapitres XVI et XVII, tandis que les titanates diélectriques, les semi-conducteurs et quelques applications en électrotechnique achèvent l'ouvrage de M. Déribéré. Le contrôle des pigments de titane et les principaux brevets relatifs à cet élément forment deux appendices à ce guide utile à travers le vaste domaine des applications industrielles du titane et de ses composés.

C. KURYLENKO.

*
* *

Contraste de phase et contraste par interférences (15-21 mai 1951), Colloques de la Commission internationale d'Optique, Mémoires et discussions publiés par M. FRANÇON, éditeur : Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, Paris, 1952, 1 vol., 264 pages, 189 figures, 155 × 245, prix : broché 2.200 fr.

M. Maurice Françon, auteur de remarquables travaux théoriques et expérimentaux sur le contraste de phase et d'un ouvrage dont il a été rendu compte ici⁽¹⁾, était particulièrement qualifié pour organiser et animer le colloque qui s'est tenu à Paris, du 15 au 21 mai 1951, sous l'égide de la Commission Internationale d'Optique et de l'Institut d'Optique et avec l'appui de l'U.N.E.S.C.O.

Les quelque trente communications présentées au cours du colloque par les spécialistes mondiaux les plus réputés ont été réparties en trois rubriques.

(1) M. FRANÇON, *Le contraste de phase*, Rev. Opt., éditeur, 1950.

- 1° *Emploi du contraste interférentiel. Comparaison au contraste de phase.*
- 2° *Étude théorique et réalisations expérimentales nouvelles concernant le contraste de phase.*
- 3° *Applications diverses des deux méthodes.*

Elles sont précédées d'une importante conférence du professeur P. FLEURY : *Les contrastes en Optique.*

Il ne peut être question de donner ici un aperçu, même sommaire, de la trentaine de questions traitées. Nous mentionnerons seulement :

- de J. DYSON : *Le microscope interférentiel.* Le contraste de phase : l'image est obtenue en superposant deux champs cohérents, l'un contenant l'objet, l'autre ne le contenant pas. Il n'y a plus diaphragme de la pupille et les images ne sont plus bordées de franges de diffraction importantes comme en contraste de phase ;
- de M. FRANÇON : « Étude théorique comparative du contraste de phase et des méthodes interférentielles » ;
- de B. O. PAYNE : « Phase-contrast equipment for use with the Cooke ultra-violet microscope ».
- de R. BARER : « Infrazed phase-contrast microscopy », et en fait deux communications qui intéresseront le cristallographe ;
- de H. H. HOPKINS : « Phase structure seen in the ordinary microscope » : quand l'ouverture du système d'éclairage est petite par rapport à celle de l'objectif du microscope, on peut considérer que l'objet est éclairé en lumière cohérente. Dans ces conditions, une structure telle qu'une « marche » d'un cristal diffracte la lumière en dehors de l'objectif et c'est pour cette raison qu'elle est vue dans l'image ;
- et de R. BARER : « Phase-Contrast and Interference Microscopy of Birefringent Objects » : l'utilisation de lumière polarisée en contraste de phase permet de rendre visible des objets biréfringents qui échappent pratiquement au contraste de phase ou au contraste par interférence employés seuls.

Le lecteur curieux de parcourir l'ensemble du volume et de étudier les questions qui l'intéressent particulièrement, ne regrettera ni son temps ni son effort.

J. BARRAUD.

*
* *

Pétrographie des roches sédimentaires, par A. CAROZZI, éditeur :
J. Rouge et C^{ie}, Lausanne, 1953, 1 vol., 250 pages, 27 figures,
155 × 240, prix : 1.850 fr.

Cet ouvrage est une revue critique de la littérature scientifique
concernant la pétrographie sédimentaire. Certes, il existait déjà de
nombreux traités sur ce sujet, mais ils étaient surtout consacrés
aux techniques de préparation et aux méthodes d'examen; l'auteur,
au contraire, considérant la partie technique bien connue, expose
au lecteur, l'état actuel de nos connaissances sur la genèse, l'évo-
lution et la structure des roches sédimentaires.

Les nombreux problèmes posés par ces études sont clairement
mis en évidence, ainsi que les diverses solutions possibles. Nous
essayerons de montrer, par quelques exemples, tout l'intérêt
de ce livre :

Dans le chapitre : *Minéraux détritiques et authigènes*, l'auteur
évalue l'influence du transport sur le faciès des grains et fait état
des travaux de Krynine, permettant de déduire des caractères
typiques du quartz, la nature de la roche d'origine.

Dans le chapitre : *Grès*, il donne une nouvelle classification basée
sur la nature du ciment et englobant les grès, orthoquartzites,
parautoquartzites, arkoses, grauwackes et tufs.

Dans le chapitre des *argilites* (dénomination qu'il serait
meilleur de généraliser), il insiste sur l'étude microscopique
des textures, étude trop généralement oubliée par les cher-
cheurs dans ce domaine et qui lui permet de résoudre certains
problèmes génétiques. D'autre part, se basant sur la thèse de Mil-
ner, il étudie les variations des caractères pétrographiques des
argilites en fonction des conditions générales de sédimentation.

Les chapitres : *roches carbonatées, siliceuses, ferrugineuses,*
sphatées, salifères et carbonées, ne sont pas moins intéressants.
Ainsi que le dit le professeur Parejas dans sa préface : « Ce livre
n'est pas une introduction destinée aux débutants; pour être pro-
fitable, sa lecture suppose une initiation déjà acquise aux pro-
blèmes physiques, chimiques et biologiques que posent la sédi-
mentation et la diagenèse. »

Nous ne reprocherons qu'une chose à cet ouvrage : ne pas être plus
portant; en effet, en suivant les mêmes idées directrices, l'au-
teur aurait pu montrer quels sont les domaines d'application des
nouvelles méthodes physicochimiques servant actuellement en
pétrographie sédimentaire et aurait pu insister davantage sur l'as-
péct géochimique du problème.

Nous terminerons en souhaitant une large diffusion à ce livre,
tout pétrographe moderne doit posséder dans sa bibliothèque.

J. GONI.

*

*
* *

« *Labo 53* » *Manuel d'appareils de laboratoire, d'instruments scientifiques et techniques*, éditeur : Optique et Précision françaises, Paris, 1953, 1 vol., 464 pages, 210×275 , prix : 2.40

Labo 53, rédigé en français et en anglais, est un manu

documentation contenant d'une part, des informations techniques sur des appareils scientifiques fabriqués industriellement en France et d'autre part, des renseignements sur l'organisation des grands centres français d'enseignement et de recherche scientifiques (généralités, buts, listes du personnel enseignant, etc...).

La première partie est précédée d'informations succinctes concernant les associations et syndicats industriels. Elle contient une description sommaire d'appareils scientifiques, illustrée de clichés. On y trouve les appareils qui constituent l'équipement général des laboratoires (autoclaves, balances, bancs, supports, comparateurs, étuves, fours, enregistreurs, régulateurs de température), et ce qui concerne le vide, la photographie, l'optique, la radioactivité, le magnétisme, les rayons X, l'analyse des gaz, etc...

La deuxième partie est destinée à renseigner les techniciens sur l'organisation scientifique et technique des grands centres de recherches et d'enseignement : Centre National de la Recherche Scientifique, Commissariat à l'Énergie atomique, Sociétés Savantes, Académies des Sciences, de Médecine, de Chirurgie, Facultés de Sciences, de Médecine, de Pharmacie, Grandes Écoles, Musées et Bibliothèques.

Ce manuel qui constitue une documentation intéressante trouve sa place dans tous les laboratoires et bibliothèques scientifiques, est toutefois à regretter que par suite de délais d'impression longs, certaines informations ne soient plus à jour.

D'autre part, les auteurs se sont proposés de contribuer au développement de contacts plus étroits entre les utilisateurs et les fabricants. Il est certain que cette collaboration, qui est beaucoup plus effective à l'étranger qu'en France, ne pourra avoir que de meilleurs résultats sur le perfectionnement et la qualité des appareils.

A.-J. ROSE

*
* *

Crystal structures, vol. 3, par R. W. G. WYCKOFF, éditeur : Interscience Publishers, New York, 1953, 1 vol., 210×260 ; prix : \$ 14.50.

Le troisième volume de cette publication se présente comme les deux premiers déjà parus en 1948 et en 1951, sous forme

asseur à feuillets mobiles, permettant facilement une mise à jour, par l'adjonction de nouveaux feuillets.

Rappelons que les deux premiers volumes constituent un recueil de données très complètes sur la structure cristalline des éléments, des composés du type RX , RX_2 , R_nX_n , $R(MX_2)_n$, $R_n(MX_3)_2$ (premier volume); et des composés du type $R_n(MX_4)_p$, $RX(MX_m)_3$, hydrates et ammoniates (deuxième volume).

Le troisième volume se compose de données identiques sur la structure des composés organiques (série aliphatique), des dérivés du benzène, des composés alicycliques et hétérocycliques.

Comme les deux premiers, le dernier recueil est illustré de schémas et de figures bien dessinés et chaque paragraphe est suivi d'une abondante bibliographie.

Cet ensemble de documents est précieux pour la recherche bibliographique qui concerne la structure de la matière. Notons que ces recherches seraient facilitées par l'adjonction d'un index alphabétique.

C. KURYLENKO.

ERRATUM

Bulletin 7-9 (1953), t. LXXVI, p. 298, 21^e ligne :

Au lieu de :

affirmée

lire :

infirmée

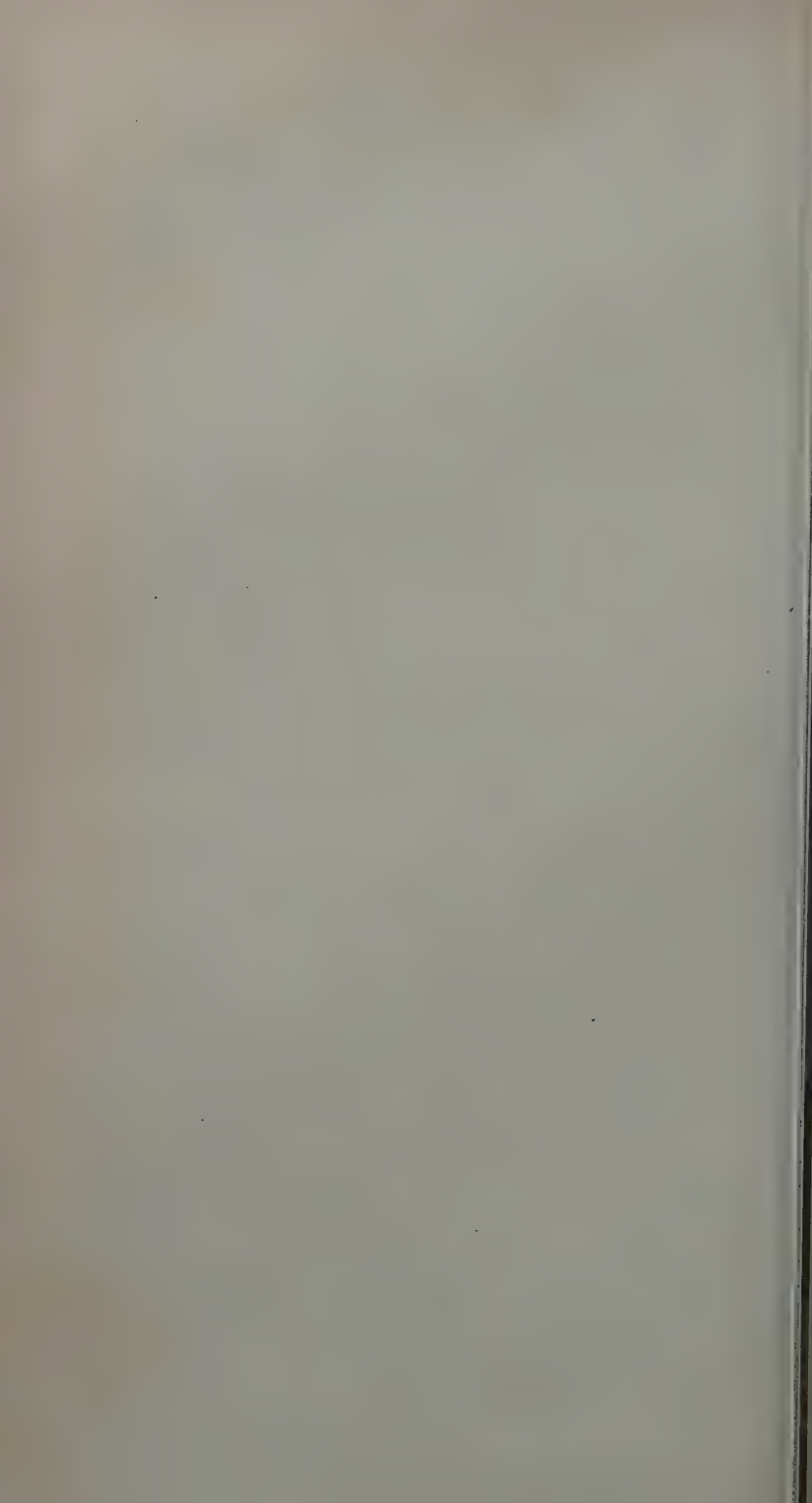


TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES TRAVAUX ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE TOME LXXVI

	Pages
BERTAUT, E. F. — Étude aux rayons X des dimensions des domaines de Bragg dans les poudres polycristallines. Application à l'étude de la texture et structure de poudres de fer pyrophoriques et de leurs propriétés magnétiques (II).....	1
BORDET, P. — Une nouvelle platine théodolite à quatre axes, pour le microscope polarisant (réalisation pratique).....	95
BORDET, P. — Utilisation de l'interféromètre de M. Nomarski pour la comparaison des indices des minéraux en plaques minces.	415
BOUFTIER, L. et DUNOYER, J.-M. — Description d'une chambre photographique pour la prise de diagrammes de Debye-Scherrer, d'échantillons portés à très basses températures.....	79
CAILLÈRE, S., HENIN, S. et ESQUEVIN, J. — Recherches sur la synthèse des minéraux argileux.....	309
CHAUME, G., GUILLAUME, J. et MATHIEU-SICAUD, A. — Posémètre pour microscope électronique. Application au choix des révélateurs.....	193
CHEVENARD, P. — Analyse dilatométrique et thermogravimétrique des houilles.....	165
CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY, M. — Reproduction artificielle de minéraux qui apparaissent dans le métamorphisme de contact du granite.....	237
CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY, M. et SANDRÉA, A. — La hōghomite de Frain (Tchécoslovaquie).....	430
DEICHA, G. A. — A propos de reliquats magnétiques dans les quartz de première consolidation des roches à deux temps de cristallisation.....	457
DUPUIS, R. — Projecteur de préparations microscopiques.....	205
FOEX, M. et WYART, J. — Remarques sur la transformation polymorphique de l'anhydride tungstique vers 900° C.....	102
GARRIDO, J. — Sur les systèmes de points partiellement ordonnés.	110
GOÑI, J. — Sur une variété aberrante de diaspore de l'Uruguay (kaysérite).....	315
GOÑI, J. et GUILLEMIN, C. — Une espèce minérale discréditée, buszite = bastnaésite.....	124

GOŇI, J. et GUILLEMIN, C. — La mendipite de Langban, Vermland, Suède.....	21
GOŇI, J. et GUILLEMIN, C. — Données nouvelles sur les sélénites et séléniates naturels.....	42
GUILLEMIN, C. et PERMINGEAT, F. — Revue des espèces minérales nouvelles.....	130, 219, 300
GUILLEMIN, C. et PERMINGEAT, F. — Espèces minérales discréditées.....	140, 226, 377
GUILLEMIN, C. et PERMINGEAT, F. — Espèces minérales dont la validité est mise en doute.....	151, 227
KARŠULIN, M. et STUBIČAN, V. — Contribution à l'étude de la structure des halloysites et essais de synthèse.....	434
KERN, R. — Étude du faciès de quelques cristaux ioniques à structure simple.....	323, 399
KIEFER, Ch. — Note sur quelques minéraux rares du groupe des phyllites.....	61
KRAUT, F. et PROUVOST, J. — Sur les gîtes plumbo-zincifères de la région de Nontron (Dordogne).....	45
LAGRANGE, R. et URBAIN, P. — Répartition des éléments décelables spectrographiquement dans les eaux thermominérales.....	20
LE CORRE, Y. — Constantes élastiques et piézoélectriques cristallines.....	46
NIEUWENKAMP, W. — Nouvelle méthode de détermination de la direction de l'axe optique des cristaux uniaxes.....	84
SABATIER, G. — Sur quelques types d'architecture cristalline des coquilles de mollusques (II et III).....	59, 189
SANDRÉA, A. — Étude et détermination microspectrographique d'absorption des minéraux de terres rares.....	291
SAUCIER, H. — Sur une méthode rapide d'orientation des cristaux de corindon synthétique.....	294
VUAGNAT, M. — Sur un phénomène de métasomatisme dans les roches vertes du Montgenèvre (Hautes-Alpes).....	438

OUVRAGES PRÉSENTÉS

Anonyme. — Données récentes sur quelques gisements manganésifères de Russie (note traduite par R. Zvéreff).....	LXI
Anonyme. — Radex Run Ischau.....	LXI
Anonyme. — Tables for conversion of X-ray diffraction angles to interplanar spacing.....	LII
BUTTGENBACH, H. — Notice sur Alphonse RENARD.....	XLV
GAUDEFROY, C. — Étude cristallographique de la vanadinite du Tadaout près du Taouz, Maroc sud oriental.....	XLV

DEFROY, C. — Bibliographie des publications minéralogiques relatives au Maroc.....	XLVI
DEFROY, C. — Prehnite dans le Trias de la région d'Ouezzane.....	XLVI
DEFROY, C. et PERMINGEAT, F. — Sur la célestie de la région d'Ouezzane et les minéraux qui lui sont associés.....	XLVI
OKAAS, R. — La naissance de la cristallographie en France au XVIII ^e siècle.....	LIII
INSKY, R. — Computing methods and the phase problem in X-ray crystal analysis.....	LIII

VRAGES PRÉSENTÉS AVEC EXTRAITS BIBLIOGRAPHIQUES

onyme. — Comptes rendus du premier Congrès International de microscopie électronique.....	483
onyme. — « Labo 53 » Manuel d'appareils de laboratoire, d'instruments scientifiques et techniques.....	LXII, 498
onyme. — Zur Struktur und Materie der Festkörper.....	232
onyme. — Statistische Zusammenstellungen über Aluminium, Blei, Kupfer, Zink, Zinn, Kadmium, Nickel, Quecksilber, Silber.....	491
BRETT, C. S. — Structure of metals, cristallographic methods, principles and data.....	485
INDLEY, G. W. — X-ray identification and crystal structures of clay minerals.....	388
ITGENBACH, H. — Les minéraux et les roches.....	LVIII, 490
ROZZI, A. — Pétrographie des roches sédimentaires.....	497
UDOBA, K. F. et GÜBELIN, E. J. — Schmuck-und edelsteinkundliches Taschenbuch.....	231
AUSSEN, C. H., DRIESEN, A. et ROSCH, S. — Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop.....	486
BRELL BARNARD, J. et EDWARDS, L. — Basic science.....	384
RIBÉRE, M. — Le titane et ses composés dans l'industrie.....	494
VAL, C. — Inorganic thermogravimetric analysis.....	230
RSMAN, A.-E. — De la merveille de couleurs des minéraux et des pierres décoratives.....	387
ANÇON, M. — Contraste de phase et contraste par interférences.....	495
EDENSBURG, F. — Gold. (fasc. 3 ; Collection Die metallischen Rohstoffe).....	385
RRIDO, J. — Leçons sur la structure atomique des cristaux.....	459
LESSNER, M. F. et RUDD, E. A. — Sir Douglas Mawson Anniversary volume.....	231
SON, B. — Principles of geochemistry.....	463
TA, N. et METTA, A. — Les pierres précieuses.....	483

- NORTON, F. H. — Elements of ceramics.....
- PARTINGTON, J. R. — An advanced treatise on physical chemistry,
Vol. 3, The properties of solids.....
- PIGOTT, E. C. — Ferrous analysis.....
- PRZIBRAM, K. — Verfärbung und lumineszenz-Beiträge zur Mineralphysik.....
- ROSE, A. J. — Les rayons X.....
- SHOCKLEY, W., HOLLOMON, J. H., MAURER, R. et SEITZ, F. — Imperfections in nearly perfect crystals.....
- TRÖGER, W. E. — Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale.....
- WINCHELL, A. N. et WINCHELL, H. — Elements of optical mineralogy, part. 2, Description of minerals.....
- WYCKOFF, R. W. G. — Crystal structures.....
-

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME LXXVI

ABBREVIATIONS UTILISÉES DANS LA TABLE.

<i>An.</i>	Analyse.	<i>Minér.</i>	Étude minéralogique.
<i>App.</i>	Appareillage.	<i>Nouv.</i>	Nouveau.
<i>Bibl.</i>	Extrait bibliographique.	<i>Obs.</i>	Observation.
<i>Chim.</i>	Étude chimique.	<i>Opt.</i>	Étude optique.
<i>Crist.</i>	Étude cristallographique.	<i>Phys.</i>	Étude physique.
<i>Déterm.</i>	Détermination.	<i>Prés.</i>	Présentation.
<i>Éch.</i>	Échantillon.	<i>Rad.</i>	Étude de la radioactivité.
<i>Esp.</i>	Espèce.	<i>Struct.</i>	Structure.
<i>Métall.</i>	Étude métallogénique.	<i>Syn.</i>	Synonyme.
<i>Micros.</i>	Étude microscopique	<i>Synt.</i>	Synthèse.
<i>Min.</i>	Minéral.	<i>Therm.</i>	Étude thermique.

A

	Pages
Acétaldéhyde. — <i>Crist.</i> (A.-J. RICHARD).....	LXII
Adamite. — (Zacatecas) <i>Prés. éch.</i> (J. GARRIDO).....	LIV
Ainalite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	141
Alaskaite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	151
Allargentum. — <i>Min. nouv.</i> (C. GUILLEMIN).....	365
Allemontite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	379
Alphavredenbourgite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	379
Amosite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	379
Ancre. — <i>Formation de minéraux sur ancrs immergées</i> (J. GOÏI, C. GUILLEMIN et M. PERRIMOND).....	LIV
Anglésite. — (Mine de la Rabasse, Hérault). <i>Prés. éch.</i> (J. GOÏI et C. GUILLEMIN).....	XLVII
Anhydride tungstique. — <i>Transformation polymorphique</i> (M. FOEX et J. WYART).....	102
Anniversaire Société. — C. R. Congrès de Lyon.....	LXIV
Antamokite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	142
Apatite. — (Menez-Goallion, Bretagne). <i>Prés. éch.</i> (M. LE MERCIER).....	XXXIX
Apatite. — (Cerro Mercado) <i>Prés. éch.</i> (J. GARRIDO).....	LIV
Arequipite. — <i>Syn. blenierite + quartz</i> (F. PERMINGEAT).....	378
Argiles. — <i>Synt. des minéraux argileux</i> (S. CAILLÈRE, S. HENIN et J. ESQUEVIN).....	XXXIX, 300
Arizonite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	142
Arsenostibite. — <i>Syn. stibiconite</i> (F. PERMINGEAT).....	226

B

Balance (thermo-). — Description d'app. à enregistrement photographique (P. CHEVENARD).....	17
Barcenite. — Mélange de stibiconite et de cinabre (F. PERMINGEAT).....	22
Barthite. — Substance hétérogène (C. GUILLEMIN).....	14
Basobismutite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	14
Belyankite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	15
Benjaminite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	37
Béryl. — (Menez-Goaliou, Bretagne). Prés. éch. (M. LE MERCIER)...	XXXI
Beta-Cérolite — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	13
Bêta-Vredenburgite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	37
Bindheimite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	38
Bismuthinite. — (Pic de Costabona, Font Negra, el Turan, Pyrénées-orientales) Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	LII
Brankite. — (Minasragra, Pasco, Pérou). Prés. éch. (J. GARRIDO)...	LIV
Bleuinierite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	38
Blende. — (Mine de Aliva, près Oviedo, Espagne). Prés. éch. (A. JOURDAIN).....	XLII
Bodeubenderite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	143
Boehmite-Hydrargillite. — Crist. des mélanges (C. LEGRAND et R. TERTIAN).....	XII
Boksputite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	152
Borzonite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	150
Boiryogène — (Mine de la Rabasse, Ilérault). Prés. éch. (J. GOÑI et C. GUILLEMIN).....	XLVI
Bournouite. — (Région de Ceilhes, Ilérault). Prés. éch. (J. GOÑI et C. GUILLEMIN).....	XLVII
Buszite. — Espèce discréditée (J. GOÑI et C. GUILLEMIN).....	XLI
Buszite. — Syn. bâstnaesite (F. PERMINGEAT).....	378

C

Cadwaladerite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	132
Calcium-Lazulite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	144
Carminite. — (Mine de la Rabasse, Ilérault). Prés. éch. (J. GOÑI et C. GUILLEMIN).....	XLVII
Cervantite. — Syn. stibiconite (F. PERMINGEAT).....	226
Chalcopyrite. — (Menez-Goaliou, Bretagne). Prés. éch. (M. LE MERCIER).....	XXXIX
Chambre à rayons X. — Mesure de grandes distances réticulaires (M. RAVAILLE).....	LV
Chambre à rayons X. — Étude des raies en retour (G. SABATIER).....	LX
Cheralite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	365
Chinoite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	367
Chlorastrolite. — Syn. zonochlorite et pumpellyite (F. PERMINGEAT).....	378
Chrome-ocre. — Min.-r. (CH. KIEFER).....	69
Chromkaolinite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	369
Coeruleolacictite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	153
Congrès (Lyon). — C. R. Congrès 75 ^e anniversaire. Société.....	LXIV
Corindon. — Méthode d'orientation des cristaux synthétiques (H. SAUCIER).....	480
Coronguite. — Syn. bleuinierite argentifère (F. PERMINGEAT).....	378

stallisation. — Influence d'extraits biologiques (J. BARRAUD)...	LV
naissance des cristaux. — Étude théorique et expérimentale (R. KERN).....	338, 394
probismuthite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	380
proscheelite. — (Guadalupana, Chihuahua). Prés. éch. (J. GARRIDO).....	LIV

D-E

bye-Scherrer. — Diagrammes de très petits cristaux (M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY).....	XLIII
bye Scherrer. — Chambre à basse température (L. BOUTTIER et J. M. DUNOYER).....	79
vadite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	379
aspore. — Minér., variété aberrante (kayserite) (J. GONI).....	XLVIII, 315
latomètre. — Description d'app. à enregistrement graphique (P. CHEVENARD).....	168
latométrie. — An. de houilles (P. CHEVENARD).....	165
ux minérales. — Répartition des éléments décelables (R. LAGRANGE et P. URBAIN).....	XXXV, 208
chenwaldite. — Crist. (C. KURYLENKO et J. GONI).....	XLVIII
lasticité. — Constantes cristallines (Y. LE CORRE).....	464
iglaubite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	153
ubscité. — (Menez-Goaliou, Bretagne). Prés. éch. (M. LE MERCIER).....	XXXIX
skebornite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	369

F-G

aciés. — Étude de cristaux ioniques à structure simple (R. KERN).....	325, 391
aheyite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	369
aratsihite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	380
eldspaths. — Reproduction artificielle (M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY).....	279
er pyrophorique. — Texture et struct. de poudres (E. F. BERTAUT).....	1
ernandinite. — (Minasrag, Pasco, Pérou). Prés. éch. (J. GARRIDO).....	LIV
ajolotite. — Syn. tripuyite (F. PERMINGEAT).....	378
ormiate ferreux. — Décomposition thermique (E. F. BERTAUT).....	4
ormiate ferreux. — Réduction aux basses températures (E. F. BERTAUT).....	9
ormiate ferreux. — Réduction aux températures élevées (E. F. BERTAUT).....	13
ornacite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	380
ringelite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	133
uchsité. — Minér. (Ch. KIEFER).....	68
anizzarite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	380
arividite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	379
laubapatite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	153
ldfieldite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	381
ongarrite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	144
ravimétrie (thermo). — An. de houilles (P. CHEVENARD).....	165
reenockite. — (Roca Jalera, près Amélie, Pyrénées-Orientales). Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	LIX
renats. — Reproduction artificielle (M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY).....	273
adarramite. — Syn. ilmenite (F. PERMINGEAT).....	227
annbjarnite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	134

H

Hagemannite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	
Halloysites. — Minér. synt. (M. KARŠULIN et V. STUBICAN).....	
Halogénures. — Étude du faciès cristallin (R. KERN).....	
Hauchecornite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	
Heazlewoodite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	
Hematite. — Pic de Costabona, Fra Joan, Pyrénées-Orientales). Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	
Heterogenite. — (Ravin de Peyrefeu, près la Preste, Pyrénées-Orientales). Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD) ..	
Hillebrandite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	
Hiller (Méthode de). — Application aux minerais (J. CHERVET et R. PIERROT).....	XX
Histrixite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	
Högbomite. — (Frain, Tchécoslovaquie) minér. (A. SANDRÉA).....	XL
Högbomite. — (Frain, Tchécoslovaquie) minér. (A. SANDRÉA, M. CRISTOPHE-MICHEL-LEVY).....	
Houilles — An. dilatométrique et thermogravimétrique (P. CHEVENARD).....	
Hummerite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	
Huntite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	
Hurlbutite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	
Hydrargillite-Boehmite. — Crist. des mélanges (C. LEGRAND et R. TERTIAN).....	
Hydrobismutite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	1
Hydrodolomite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	1
Hydrogiobertite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	1
Hydroromeite. — Syn. stibiconite (F. PERMINGEAT).....	

I-J-K-L

Ilmenite. — (Kerleven, Bretagne). Prés. éch. (M. LE MERCIER).....	XXX
Indices. — Comparaison par interférométrie (P. BORDET)	4
Isiganeite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN)	3
Ixiolite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	1
Jerebiewite. — Crist. (C. KURYLENKO et J. GONT).....	XLV
Jordisite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	3
Kayserite. — Variété de diaspore, minér. (J. GONT).....	XLVIII, 3
Klaprothite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT)	1
Klaprotholite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	1
Lapparentite. — Syn. tamarugite (F. PERMINGEAT).....	1
Latiumite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	3
Leonhardtite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	2
Leucophosphite. — Nouv. définition (F. PERMINGEAT).....	3
Löllingite. — (Roca Jalera, près Amélie, Pyrénées-Orientales). Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	1
Lossenite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	1
Lotrite. — Syn. pumpellyite (F. PERMINGEAT).....	3
Lough inite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	1

M

le. — Des coquilles des patelles (G. SABATIER).....	59
ma. — Reliquats magmatiques dans quartz (G. DEICHA).....	LIV, 157
gnalumoxyde. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	372
gnétisme. — Propr. des poudres de fer (E. F. BERTAUT).....	1
aganèse-Hoernesite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	136
anganophyllite. — Minér. (C. KIEFER).....	66
tteucite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	137
damaite. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	373
lanchlor. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	146
lanovanadinite. — (Minasragra, Pasco, Pérou). Prés. éch. (J. GAR- IDO).....	LIV
ndipite. — (Gis. de Langban, Vermland, Suède) minér. (J. GON- t C. GUILLEMIN).....	216
tabayleyite. — Nouv. nom de min. (F. PERMINGEAT).....	225
tasanidine. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	138
tasomatisme. — Étude des roches vertes de Montgenèvre (Hautes- Alpes) (M. VUAGNAT).....	438
ta-Uranopilite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	229
cas. — Reproduction artificielle (M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY)...	253
roscope. — Mesure de l'ouverture de l'objectif (A. PALM).....	LIV
roscope Electronique. — Étude d'un posemètre (G. CHAUME, J. GUILLAUME et A. MATHIEU-SICAUD).....	193
roscopie. — Projecteur de préparation (R. DUPUIS).....	205
métite. — (Mine de la Rabasse, Hérault). Prés. éch. (J. GON- t C. GUILLEMIN).....	XLVII
spickel. — (Menez-Goaliou, Bretagne). Prés. éch. (M. LE MERCIER).	XXXIX
spickel. — (Mine de la Rabasse, Hérault). Prés. éch. (J. GON- t C. GUILLEMIN).....	XLVII
xite. — (Ravin de Peyrefeu, près la Preste, Pyrénées-Orientales). Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	LIX
ollusques. — Crist. macle des coquilles (G. SABATIER).....	59
ollusques. — Texture et biréfringence de la nacre (G. SABATIER).	189
olybdenite. — (Pic de Costabona, el Turun, Pyrénées-Orientales), Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	LIX
olybdoscheelite. — (Pic de Costabona, Pyrénées-Orientales). Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	LIX
pnimolite. — Syn. bleinierite (F. PERMINGEAT).....	378
outroseite. — Min. nouv. (F. PERMINGEAT).....	138
resnetite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	146
scovite-Manganésifère. — (Mesures, Saône-et-Loire). Minér. (Ch. KIEFER).....	67

N-O

-Heterosite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	148
-Purpurite. — Substance hétérogène (F. PERMINGEAT).....	148
ckel-Asbolane. — Min. nouv. (C. GUILLEMIN).....	222
obium. — Dosage par spectrographie X (M. TOURNAY).....	LXIII
rmannite. — Esp. min. douteuse (F. PERMINGEAT).....	154
re-Vanadifère. — (Minasragra, Pasco, Perou). Prés éch. (J. GAR- IDO).....	LIV

- Ordre-Désordre. — *Systèmes partiellement ordonnés* (J. GARRIDO).
 Owyheeite. — *Nouv. définition* (F. PERMINGEAT).
 Oxydes métalliques. — *Polissage électrolytique et chimique* (Y. ADDA et R. COLLONGUES).

P-Q

- Palermoite. — *Min. nouv.* (F. PERMINGEAT).
 Panabase Tellurifère. — *Nouv. définition* (F. PERMINGEAT).
 Paratoluidine (chlorhydrate). — *Crist.* (G. ELLER).
 Parkerite. — *Nouv. définition* (F. PERMINGEAT).
 Partzite. — *Nouv. définition* (F. PERMINGEAT).
 Pascoite. — (Minasragra, Pasco, Pérou). *Prés. éch.* (J. GARRIDO).
 Patelles. — *Macles des coquilles* (G. SABATIER).
 Patronite. — (Minasragra, Pasco, Pérou). *Prés. éch.* (J. GARRIDO).
 Pharmacosidérite. — (Mine de la Rabasse, Hérault). *Prés. éch.* (J. GARRIDO et C. GUILLEMIN).
 Phyllites (groupe des). — *Minér.* (Ch. KIEFER).
 Piezoélectricité. — *Constantes cristallines* (Y. LE CORRE).
 Pilsenite. — *Substance hétérogène* (F. PERMINGEAT).
 Platine théodolite. — *Nouvelle platine à 4 axes* (P. BORDET).
 Plomb-Zinc. — *Gîtes de la région de Nontron (Dordogne)* (F. KRAUT et J. PROUVOST).
 Posemètre. — *Pour microscope électronique* (G. CHAUME, J. GUILLEME et A. MATHIEU-SICAUD).
 Potassium (carbonate acide). — *Crist.* (L. COUTURE-MATHIEU).
 Powellite. — (Pic de Costabona, Pyrénées-Orientales). *Prés. éch.* (F. GUITARD et G. GUITARD).
 Pumpellyite. — *Nouv. définition* (F. PERMINGEAT).
 Pyrite. — (Menez-Goalion, Bretagne). *Prés. éch.* (M. LE MERCIER).
 Pyroclasisite. — *Syn hydroxylapllite* (F. PERMINGEAT).
 Pyroguanite. — *Substance hétérogène* (F. PERMINGEAT).
 Quartz. — *Clivé de Saint-Paul-la-Roche* (F. KRAUT et J. GANDILLOT).
 Quartz. — *Reproduction artificielle* (M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY).

R

- Radiographie électronique. — *Étude de min. radio-actifs* (J.-J. TRILLAT et L. TERTIAN).
 Randite. — *Substance hétérogène* (F. PERMINGEAT).
 Rankinite. — *Nouv. définition* (F. PERMINGEAT).
 Rhagite. — *Esp. min. douteuse* (F. PERMINGEAT).
 Richmondite. — *Substance hétérogène* (F. PERMINGEAT).
 Rivotite. — *Mélange de malachite et de stibiconite* (F. PERMINGEAT).
 Rizopatronte. — (Minasragra, Pasco, Pérou). *Prés. éch.* (J. GARRIDO).
 Rubellite. — (Quérélaro). *Prés. éch.* (J. GARRIDO).
 Rumongite. — *Min. nouv.* (C. GUILLEMIN).
 Russes. — *Statistiques des étudiants russes à la Faculté des Sciences de Paris* (C. KURYLENKO).
 Rutherfordine. — *Esp. min. douteuse* (F. PERMINGEAT).
 Rutile. — (Kerleven, Bretagne). *Prés. éch.* (M. LE MERCIER).

S

Sables. — <i>Minér.</i> (J. GOÑI, F. KRAUT).....	LXIII
Salvadorite — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	155
Sanderite. — <i>Min. nouv.</i> (C. GUILLEMIN).....	223
Saponite. — <i>Minér.</i> (Ch. KIEFER).....	74
Sauconite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	382
Scheelite. — (<i>Pic de Costabona, Font Negra et Solaneta, Pyrénées-Orientales</i>). Prés. éch. (F. GUITARD et G. GUITARD).....	LIX, 76
Scorodite. — (<i>Venez-Goalion, Bretagne</i>). Prés. éch. (M. LE MERCIER).....	XXXIX
Seelandite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	155
Séliénites. — <i>Minér.</i> (J. GOÑI, C. GUILLEMIN).....	LIV, 422
Séliénites. — <i>Minér.</i> (J. GOÑI, C. GUILLEMIN).....	LIV, 422
Semi-conducteurs. — <i>Utilisation à la détection des rayons X</i> (Z. MIHAILEVIC).....	LIX
Serpentinisation. — <i>Étude dans les roches vertes du Chenaillet (Hautes-Alpes)</i> (M. VUAGNAT).....	XXXV
Soda-Hétérosite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	148
Soda-Purpurite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	148
Soddyite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	383
Sodium — <i>Température de Debye</i> (H. CURIEN).....	L
Sodium (disilicate). — <i>Crist.</i> (A. GRUND).....	XL
Sombrerite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	148
Spadaite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	156
Spectrographie. — <i>Répartition des éléments dans les eaux minérales</i> (R. LAGRANGE et P. URBAIN).....	XXXV, 208
Spectrographie X. — <i>Dosage quantitatif Nb-Ta</i> (M. TOURNAY).....	LXIII
Sphaerite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	156
Stetefeldite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	380
Stibarsen. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	379
Stibianite. — <i>Syn. stibiconite</i> (F. PERMINGEAT).....	227
Stibiconite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	383
Stibiobismutotantalite. — <i>Min. nouv.</i> (C. GUILLEMIN).....	138
Stibioferrite. — <i>Mélange de bindheimite et de jarosite</i> (F. PERMINGEAT).....	228
Stoffertite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	156
Synthèse. — <i>Des micas, tourmalines, grenats, quartz, feldspaths</i> (M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY).....	237

T-U

Tallingite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	148
Tantale. — <i>Dosage par spectrographie X</i> (M. TOURNAY).....	LXIII
Taylorite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	157
Terres rares. — <i>Déterm. micro-spectrographique</i> (A. SANDRÉA).....	294
Thorite. — <i>Déterm. micro-spectrographique</i> (A. SANDRÉA).....	294
Tobermorite. — <i>Nouvelle définition</i> (F. PERMINGEAT).....	383
Tourmalines. — <i>Reproduction artificielle</i> (M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY).....	260
Tripuyite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	380
Tungstène (anhydride tungstique). — <i>Transformation polymorphique</i> (M. FOEX et J. WYART).....	102

Tyrolite. — (<i>Mine de la Rabasse, Hérault</i>). Prés. éch. (J. GONÉ et C. GUILLEMIN).....	XLVII
Ultrabasite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	157
Uniaxes (cristaux). — <i>Déterm. direction axe optique</i> (W. NIEUWENKAMP).....	86
Uranifères (espèces). — <i>Minér.</i> (J. CHERVET et G. BRANCHE).....	LXII

V-W-X-Z

Vandiestite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	149
Vanuxemite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	149
Vauquelinite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	380
Veatchite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	383
Vilateite. — <i>Esp. min. douteuse</i> (F. PERMINGEAT).....	158
Volgerite. — <i>Syn. stibiconite</i> (F. PERMINGEAT).....	227
Von Diestite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	119
Warthaite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	149
Wehrlite. — <i>Substance hétérogène</i> (F. PERMINGEAT).....	150
Whitmanite. — <i>Syn. geikielite</i> (F. PERMINGEAT).....	141
Wiserite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	383
Wittichenite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	383
Wolchonskoite. — <i>Minér.</i> (Ch. KIEFER).....	71
Wretbladite. — <i>Nouv. définition</i> (F. PERMINGEAT).....	379
Xenotime. — <i>Déterm. micro-spectrographique</i> (A. SANDRÉA).....	294
Zebedassite. — <i>Syn. saponite</i> (C. GUILLEMIN).....	141
Zinc-Högbomite. — <i>Min. nouv.</i> (F. PERMINGEAT).....	375
Zircon. — <i>Déterm. micro-spectrographique</i> (A. SANDRÉA).....	294

Le secrétaire-gérant : A.-J. ROSE.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DE
MINÉRALOGIE
ET DE
CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1952

Membres du Bureau.

MM. J. LAVAL,, Président.
P. CHEVENARD } Vice-Présidents.
R. GAY }
A. J. ROSE, Secrétaire général.
C. RÉRAT, Secrétaire-adjoint.
H. CURIEN, Trésorier.
A. RANDOIN, Trésorier honoraire.
C. KURYLENKO, Archiviste.

Membres du Conseil.

MM. R. HOCART.	MM. J. JUNG.
J. GEFFROY.	A. KRAPIVINE.
M. DÉRIBÉRE.	C. GUILLEMIN.

Membres du Comité de lecture.

MM. CH. MAUGUIN, Président.	MM. R. HOCART
G. CHAUDRON	J. ORCEL
E. FRIEDEL	J. WYART

ANCIENS PRÉSIDENTS :

1878 DES CLOIZAUX (A.).	1914 BARDET (G.).
1879 MALLARD (E.).	1915 ARSANDAUX (H.).
1880 DAMOUR (A.).	1916 WALLERANT (FRÉD.).
1881 FRIEDEL (CH.).	1917 LACROIX (A.).
1882 DAUBRÉE (A.).	1918 GRAMONT (A. DE).
1883 FOUQUÉ (F.).	1919 MICHEL (L.).
1884 CORNU (A.).	1920 MOUREU (CH.).
1885 LAPPARENT (A. DE).	1921 AZÉMA (Colonel).
1886 BERTRAND (EM.).	1922 TERMIER (P.).
1887 JANNETTAZ (E.).	1923 CAYEUX (L.).
1888 DUFET (H.).	1924 MAUGUIN (CH.).
1889 DES CLOIZEAUX (A.).	1925 DELÉPINE (M.).
1890 CARNOT (AD.).	1926 GRANDJEAN (F.).
1891 WYROUBOFF (G.).	1927 LACROIX (A.).
1892 MALLARD (E.).	1928 HUBERT (H.).
1893 BOURGEOIS (L.).	1929 ORCEL (J.).
1894 MICHEL-LÉVY (A.).	1930 WALLERANT (F.).
1895 LACROIX (A.).	1931 LACROIX (A.).
1896 HAUTEFEUILLE (P.).	1932 Colonel VÉSIGNIÉ (L.).
1897 TERMIER (P.).	1933 Abbé GAUDEFROY (C.).
1898 LE CHATELIER (H.).	1934 GAUBERT (P.).
1899 WALLERANT (FRÉD.).	1935 MAUGUIN (CH.).
1900 HAUTEFEUILLE (P.).	1936 MICHEL-LÉVY (A.).
1901 BERTRAND (EM.).	1937 URBAIN (G.).
1902 WYROUBOFF (G.).	1938 GLASSER (E.).
1903 MICHEL (L.).	1939 BLONDEL (F.).
1904 DUFET (H.).	1940-43 LACROIX (A.).
1905 WALLERANT (FRÉD.).	1944 FRIEDEL (E.).
1906 LAPPARENT (A. DE).	1945 WYART (J.).
1907 MOISSAN (H.).	1946 MICHEL-LÉVY (A.).
1908 LACROIX (A.).	1947 PORTEVIN (A.).
1909 GAUBERT (P.).	1948 ORCEL (J.).
1910 LE CHATELIER (H.).	1949 CHAUDRON (G.).
1911 TERMIER (P.).	1950 MAUGUIN (CH.).
1912 GRAMONT (A. DE).	1951 BOUBÉE (N.).
1913 COPAUX (H.).	

LISTE DES MEMBRES

1952

Membre bienfaiteur.

LACROIX (A.).

Membre donateur.

1952 SERVICE des Recherches et du contrôle techniques,
3, avenue de la République, Issy-les-Moulineaux, Seine.

Membres honoraires décédés.

MILLER (W. H.).
ADAM (GILBERT-JOSEPH).
KOBELL (FR. von).
SMITH (LAWRENCE).
SELLA (L.).
RATH (G. von).
DOMEYKO (I.).
LEUCHTENBERG (S. A. I.
le Grand-Duc Nic. DE)
KOKSCHAROW (N. DE).
SCACCHI (A.).
SZABO (J.).
MARIGNAC (CH. DE).
DANA (J.-D.).
DES CLOIXAUX (A.).
SCHRAUF (A.).
FRIEDEL (CH.).
RAMMELSBERG (C.).
NORDENSKJOELD (A.-E.).
DAMOUR (A.).
FOUQUÉ (F.).

MASKELYNE (N.-S.).
ZIRKEL (Fr.).
WYROUBOFF (Gr.).
STRUEVER (G.).
ROSENBUSCH (H.).
FEDOROFF.
IDDINGS (JOSEPH-P.).
PISANI (F.).
LANG (V. von).
GONNARD (F.).
TSCHERMAK (G.).
GROTH (P.).
BECKE (Dr FR.).
WALLERANT (FRÉD.).
TOPSCE (Dr H.).
CESARO (G.).
BRÖGGER (W.-C.).
LACROIX (A.).
BOLDYREV (A. K.).
SMIRNOV (S. S.).

Membres honoraires.

- 1947 CHOUBNIKOV (A. V.), professeur de Minéralogie
membre de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S.
Moscou.
- 1950 BRAGG (Sir L.) Cavendish Laboratory, University of
Cambridge, Angleterre.
- 1950 NIGGLI (P.), prof. der Mineralogie und Petrographie an
der eidgenössischen technischen Hochschule und an der
Universität Zurich, Suisse.
- 1950 SLAVIK (FRANTSÈK), professeur honoraire à la Faculté
des Sciences de l'Université Charles, Karlovy-University
u Praze, Prague 2, Albertov 6 (Tchécoslovaquie).
- 1950 WESTGREN (ARNE), prof., K. Vetenskapsakademien
Stockholm 50 (Suède).
- 1950 WYCKOFF (R. W. G.), Scientific Director, Laboratory
of physical biology, U. S. Public health service, Na-
tional Inst. of health, Bethesda 14, Maryland (U. S. A.).

Membres perpétuels décédés.

BERTRAND (Émile).	PURPER (L.).
MAUROY (Marquis DE).	

Morts pour la France ⁽¹⁾.

BOUSSAC (J.).	TRONQUOY (R.).
ROMEU (A. DE).	

Membres perpétuels.

- 1888 UNIVERSITÉ libre de Louvain (Belgique).
- 1894 SOCIÉTÉ minéralogique de Léninegrad.
- 1894 INSTITUT des Mines de Léninegrad.
- 1897 SPECULA VATICANA, à Rome.
- 1910 SOCIÉTÉ espagnole d'Histoire naturelle, à Madrid.
- 1919 SOCIÉTÉ minière et métallurgique de Penarroya, 12,
place Vendôme, Paris, 1^{er}

(1) Inscrits sur la liste des membres perpétuels par décision de la Société.

- 1919 BIBLIOTHÈQUE de La Faculté de Pharmacie,
avenue de l'Observatoire, Paris, 6^e.
1920 INSTITUT minéralogique de l'Université tchèque
à Prague (Tchéco-Slovaquie).
1921 INSTITUT minéralogique de l'Université Masaryk
à Brno (Tchéco-Slovaquie).
1921 BANQUE industrielle de Chine (Services techniques),
74, rue Saint-Lazare, Paris.
1949 MUSÉE DE LA TERRE (Muzeum Ziemi), Al. na
Skaupie 8, Warszawa, Varsovie (Pologne).
1950 LABORATOIRE DE GÉOLOGIE, École Nationale
d'Agriculture de Montpellier (Hérault).
1951 LABORATOIRE DE GÉOLOGIE du Collège de
France, place Marcellin-Berthelot, Paris, 5^e.
-

Membres ordinaires (1).

- 1945 AGARD (J.), ingénieur civil des Mines, Service Géo-
logique Maroc (Rabat).
1932 ALLAIN (A.), 17, rue Chaptal, Paris, 9^e.
1948 ALPERN, directeur-adjoint des Cours de Prospection
du Commissariat à l'Énergie Atomique, 61, rue de
Buffon, Paris, 5^e.
1934 *m* ANDREW (G.), maître de Conférences de Pétrographie
et de Minéralogie, Box 410, Karthoum, Anglo-Égypt-
tien Sudan.
1938 ARCHAMBAULT (M.), chef de la division de Miné-
ralogie, Service des Mines de Québec (Canada).
1939 ARTIGAS (F.), docteur ès sciences, agrégé de l'Uni-
versité, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques, Paris, 5^e.
1940 AUBERT (G.), ingénieur-agronome, 71, avenue de Bre-
teuil, Paris, 15^e.
1948 BAILLY (P.), 32, quai de Béthune, Paris, 4^e.
1946 BAILLY (R.), assistant professor of Mineralogy,
Washington University St-Louis, Mo, U. S. A.
1937 BARILLET (F.), ingénieur chimiste, 45, avenue Gam-
betta, Clichy.
1938 BARRABÉ (L.), professeur à la Faculté des Sciences,
45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.

(1) La lettre *m* indique les membres à vie.

- 1942 BARRAUD (J.), ingénieur diplômé de l'École Supérieure d'Optique, docteur ès sciences physiques, chargé de Recherches du C. N. R. S. aux Laboratoires de Bellevue et à la Faculté de Médecine, 5, rue Herschel Paris, 6^e.
- 1947 BASTIEN (P.), professeur à l'École centrale, 8, avenue Bosquet, Paris.
- 1942 BÉHIER (J.), ingénieur civil, 13, rue Vernique Paris, 17^e.
- 1949 BELTRAN (M^{lle} E. M.), professeur de Pétrographie à l'Université de Cordoba, Felix Olmedo 93, Cordoba, Argentine.
- 1944 BÉNARD (J.), maître de Conférences à l'E. N. S. C. H. de Paris, 11, rue Pierre-Curie, Paris, 5^e.
- 1949 BERTAUT (F.), Laboratoire d'Électrostatique et de physique du métal, Institut Fourier, place du Doyen Gosse, Grenoble, Isère.
- 1929 BERTHOIS (L.), maître de Conférences de Géologie Pédologie à l'École Nationale d'Agriculture, 30, quai Saint-Cast, Rennes (I et V).
- 1928 BESAIRIE, Service des Mines, Tananarive, Madagascar
- 1911 BETIM (Alberto Paes Leme), professeur de Minéralogie et de Géologie au Muséum national d'Histoire naturelle de Rio-de-Janeiro (Brésil).
- 1915 BIBLIOTHÈQUE de l'Institut minéralogique et pétrographique de l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse).
- 1918 BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Caen.
- 1920 BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Toronto (Canada).
- 1933 BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Lund (Suède).
- 1926 BLANQUET (E.), licencié ès sciences, directeur honoraire de Cours complémentaire, 112 ter, rue Marcadet, Paris, 18^e.
- 1951 BLARINGHEM (L.), membre de l'Institut, professeur honoraire à la Faculté des Sciences de Paris, 77, rue des Saints-Pères, Paris, 7^e.
- 1925 *m* BLONDEL (F.), ingénieur en chef des Mines, 35, rue Saint-Dominique, Paris, 7^e.
- 1948 *m* BODU (R.), 12, rue Victor-Hugo, Poitiers (Vienne).
- 1942 *m* BOLFA (J.), assistant à l'Institut de Géologie Appliquée, 4, avenue Heydonreich, Nancy
- 1951 BOLZE (J.), licencié ès sciences, Mine de Fedj el Adoum par le Krib (Tunisie).

- 1944 BORDET (Abbé P.), ingénieur géologue I. G. N.,
7, avenue de Ségur, Paris, 7^e.
- 1945 BOTTIER (R.), 13, square Montsouris, Paris, 14^e.
- 1921 BOUBÉE (N.), licencié ès sciences, 3, place Saint-
André-des-Arts, Paris, 6^e.
- 1928 *m* BOUHET (Ch.), professeur de Physique à l'Univer-
sité de Montpellier (Hérault).
- 1951 BOURNAZEL (M^{lle} M.), licenciée ès sciences, ingénieur
au S.R.C.T., 111, rue Notre-Dame-des-Champs,
Paris, 6^e.
- 1923 *m* BOURRET (R.), docteur ès sciences, 4, rue Héliot,
Toulouse (Haute-Garonne).
- 1948 BOYER (A.), 37, avenue de l'Arc, Orange (Vaucluse).
- 1950 BRANCHE (G.), ingénieur minéralogiste du C.E.A.,
6, boulevard de la Liberté, Châtillon/Bagneux
(Seine).
- 1938 BRASSEUR (H.), chargé de Cours à l'Université de
Liège, 1 A, quai des États-Unis, Liège (Belgique).
- 1950 BRENET (J.), Laboratoires des Piles Wonder, 77, rue
des Rosiers, Saint-Ouen (Seine).
- 1917 BRIÈRE (M^{lle} Y.), docteur ès sciences 2 *ter*, bou-
levard de l'Ouest, Le Raincy (Seine-et-Oise).
- 1950 *m* BRINDLEY, Docteur, Department of physics, Uni-
versité de Leeds, Angleterre.
- 1947 BRITISH MUSEUM (Natural History), Cromwell
Road London S. W. 7, Angleterre.
- 1919 BROGLIE (M., Duc DE), membre de l'Institut, 29,
rue de Chateaubriand, Paris, 8^e.
- 1903 BRONGNIART (Abbé M.), 2, rue Saint-Ambroise,
Paris, 11^e.
- 1932 BUREAU d'Études Géologiques et Minières Colo-
niales, 12, rue de Bourgogne, Paris, 7^e.
- 1951 BUREAU MINIER de la France d'Outre-Mer,
Yaoundé, Cameroun.
- 1927 *m* BURRI (D^r C. R.), professeur extraordinaire de Miné-
ralogie à l'École polytechnique fédérale, 5, rue
Sonneggstrasse, Zurich (Suisse).
- 1901 BUTTGEBACH (H.), professeur émérite à l'Univer-
sité de Liège, 182, avenue Roosevelt, Bruxelles.
- 1930 *m* CAILLÈRE (M^{lle} S.), docteur ès sciences, sous-
directeur du laboratoire de Minéralogie au Muséum
national d'Histoire naturelle, 61, rue de Buffon,
Paris, 5^e.
- 1920 *m* CANAC (Fr.), directeur du Centre de Recherches

- Scientifiques, Industrielles et Maritimes, 307, rue de Paradis, Marseille.
- 1941 *m* CANAL (P.), ingénieur géologue, Centre de Recherche de l'Institut du Pétrole, 4, place Bir-Hackem, Rueil (S.-et-O.).
- 1941 *m* CANDEL-VILLA (R.), docteur ès sciences, Calle de Milanesado 29-1, Barcelone (Espagne).
- 1937 *m* CAPDECOMME (L.), professeur de Minéralogie, Laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).
- 1949 *m* CARDOSO (G. M.), professeur de Minéralogie, Université de Madrid, Museo nacional de ciencias naturales, Paseo de la Castellana, Madrid, Espagne.
- 1945 CARRETTE (G.), ingénieur civil des Mines, 20, rue de l'Arcade, Paris, 8^e.
- 1948 *m* CASTERAN (J.), ingénieur S.A.R.E.M.C.I., 1, rue Cart, Nîmes (Gard).
- 1928 CASTRO BAREA (P. DE), professeur de Géologie à l'Université de Séville (Espagne).
- 1950 CAUCHOIS (M^{lle}), professeur à la Faculté des Sciences, 11, rue Pierre-Curie, Paris, 5^e.
- 1949 CHAPELLE (J.), maître de Conférences, Faculté des Sciences de Nancy, 2, rue de la Graffe, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- 1948 CHAPUT (M.), 11, rue de Tournefeuille, Toulouse (Haute-Garonne).
- 1935 *m* CHATELAIN (P.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Montpellier.
- 1925 CHAUDRON (G.), professeur à la Faculté des Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris.
- 1909 *m* CHAUTARD (J.), 1, rue Savorgnan-de-Brazza, Paris, 7^e.
- 1949 CHENEVOY (M.), École Nationale Supérieure des Mines, 158 bis, cours Fauriel, Saint-Étienne (Loire).
- 1923 *m* CHERMETTE (A.), géologue en chef des colonies, Bureau minier de la France d'Outre-Mer, 125, rue Garibaldi, Lyon (Rhône).
- 1946 *m* CHERVET (J.), ingénieur chimiste, 24, rue Auguste-Bailly, Asnières.
- 1929 CHÉTELAT (DE), Oratum Lake Road, Monsey, N. Y. (U.S.A.).
- 1933 *m* CHEVALIER (R.), professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, Institut de Physique, Nancy.
- 1944 *m* CHEVENARD (P.), directeur scientifique de la

- Société de Commeny, Fourchambault et Deca-
zeville, 39, boulevard Raspail, Paris, 7^e.
- 1949 CHRIST (C. L.), U. S. Geological Survey, Washington
25 D. C., U.S.A.
- 1947 CHRISTOPHE (M^{me} M.), 26, rue Spontini, Paris, 16^e.
- 1952 CLASTRE (J.), assistant à la Faculté des Sciences, 20,
cours Pasteur, Bordeaux.
- 1951 CLAUDEL (J.-R.), 67, rue Abel-Ferry, Épinal (Vosges).
- 1950 COGNÉ (J.), stagiaire de recherches au C.N.R.S.,
section Géologie, Institut de Géologie, rue du Thabor,
Rennes (I.-et-V.).
- 1948 COLSON (C.), 33, rue de la Côte, Nancy (Meurthe-
et-Moselle).
- 1948 m COMTE (P.), Laboratoire de Géologie du Muséum,
61, rue Buffon, Paris, 5^e.
- 1949 Mac CONNELL (Duncan), Lord Hall, Ohio State
University, Colombus 10, Ohio (U.S.A.).
- 1950 COPPENS (R.), professeur de Physique au Lycée de
Garçons, Vannes (Morbihan).
- 1948 COSSON (J.), 40, rue d'Avesnières, Laval (Mayenne).
- 1951 COTELO NEIVA (J. M.), professeur, Laboratoire de
géologie-minéralogie, Université de Coïmbra (Por-
tugal).
- 1952 COULOMB (R.), ingénieur au C.E.A., 13, rue du Doc-
teur-Déjerine, Paris, 20^e.
- 1945 COUTURE-MATHIEU (M^{me} L.), 68, rue d'Alésia,
Paris, 14^e.
- 1944 m CRUSSARD (C.), ingénieur au Corps des Mines, 6,
place du Panthéon, Paris, 5^e.
- 1944 CRUSSARD (P.), directeur général de la Société
d'aménagement urbain et rural, 58, avenue Théo-
phile-Gautier, Paris, 16^e.
- 1949 m CURIEN (H.), Agrégé des Sciences Physiques, doc-
teur ès sciences, 82, rue Notre-Dame-des-Champs,
Paris, 6^e.
- 1943 DEICHA (G.), docteur de l'Université de Paris, 50,
rue Mariel, Saint-Germain-en-Laye, Seine-et-Oise.
- 1947 DEKEYSER, chargé de Cours à l'Université de Gand
(Belgique).
- 1913 DÉLÉPINE (G.), professeur à la Faculté libre des
Sciences, 13, rue de Toul, Lille (Nord).
- 1918 m DÉLÉPINE (M.), membre de l'Institut, professeur
de Chimie organique au Collège de France, 10 bis,
boulevard de Port-Royal, Paris, 5^e.

- 1949 *m* DEMAISON (G.), 3, rue de Grenelle, Paris, 7^e.
1944 DEMANGEON (P.), professeur au Lycée de Montpellier, villa Cantegril, chemin vicinal n° 140, Montpellier (Hérault).
1943 *m* DEMAY (A.), professeur à l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, ingénieur général des Mines, 15, avenue Élisée-Reclus, Paris, 7^e.
1922 DENAEYER (M.-E.), professeur de Minéralogie à l'Université de Bruxelles, 10, avenue de Saturne, Uccle (3), Bruxelles (Belgique).
1937 *m* DÉRIBÉRE, ingénieur conseil, 1 *bis*, avenue Séverine, Courbevoie (Seine).
1922 *m* DÉVERIN (L.), professeur de Minéralogie à l'Université de Lausanne (Suisse).
1942 DOLLFUS (R.-Ph.), directeur de Laboratoire à l'École pratique des Hautes Études, 57, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, Paris, 5^e.
1949 *m* DONNAY-HAMBURGER (M^{me} G.), The Johns Hopkins University, Department of geology, Baltimore, 18, Maryland, U. S. A.
1930 *m* DONNAY (J.-D.-H.), professor of Crystallography and Mineralogy, The Johns Hopkins University, Baltimore, Md. (U.S.A.).
1939 *m* DOUCET (M.), ingénieur civil des Mines, assistant au Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon, Paris, 5^e.
1951 DOYON (G.), S.R.C.T., 10 *bis*, rue Clemenceau, Gagny (S.-et-O.).
1935 DREYFUS, maître de Conférences de géologie, Faculté des Sciences, 23, rue Gosselet, Lille (Nord).
1919 DUBAR (Abbé G.), professeur à l'Université libre de Lille, 129, rue de Londres, Mouvaux, (Nord).
1920 *m* DUFRAISSE (Ch.), membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 50, boulevard de l'Hôpital, Paris. 13^e.
1932 DUPARQUE (A.), professeur de Géologie et de Minéralogie, Faculté des Sciences de Lille, 31, rue des Pyramides, Lille (Nord).
1944 *m* DUPUIS (Roger), Civry-la-Forêt, par Orvilliers (Seine-et-Oise).
1938 DURAND (Jean), inspecteur général des Mines, 34, rue de Metz, Toulouse (Haute-Garonne).
1948 DURAND (M.), 92, rue Saint-Marceau, Orléans (Loiret).

- 935 DUVAL (C.), maître de Recherches, 73, rue du Cardinal-Lemoine, Paris, 5^e.
- 943 ÉCOLE Nationale Supérieure de géologie appliquée et de prospection minière, 94, rue de Strasbourg, Nancy (M.-et-M.).
- 1949 ELLER (C. Von), Laboratoire de Chimie C, Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1950 ESCARD (M^{me} J.), 12, quai Henri IV, Paris, 4^e.
- 1938 ESTIVAL (J.), ingénieur en chef des Mines, 1, rue Tra-
rieux, Lyon (Rhône).
- 1951 EVRAT (P.), président de la Société Philomatique
Vosgienne, 32, rue Haute, Saint-Dié (Vosges).
- 1931 *m* FABRE (R.), doyen de la Faculté de Pharmacie, 151,
rue de Sèvres, Paris, 6^e.
- 1952 FABREGAT-GUINCHARD (F.), docteur ès sciences,
Sadi-Carnot 34, Mexico D. F. (Mexique).
- 1950 *m* FAHEY (J.-J.), U. S. Geological survey, Washington
25 D. C., U.S.A.
- 1945 FAIVRE (R.), maître de Conférences, 14, rue de Malzé-
ville, Nancy.
- 1949 *m* FANKUCHEN (I.), professor of Applied physics,
Brooklyn Polytechnic Institute, 99, Livingston Street,
Brooklyn, N. Y. (U.S.A.).
- 1948 FARRAN (J.), docteur ès sciences, Laboratoire de
Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse,
Toulouse.
- 1948 *m* FAUST (G.-T.), U.S. Geological Survey, Washington
25 D. C. (U.S.A.).
- 1952 FERREIRA (M^{me} L.), ingénieur au S.R.C.T., 161,
rue des Blains, Bagneux (Seine).
- 1945 FISCHESSE, sous-directeur, École des Mines, 60,
boulevard Saint-Michel, Paris, 6^e.
- 1948 *m* FLEISCHER (M.), U. S. Geological Survey, Washing-
ton 25 D. C. (U. S. A.).
- 1944 FOEX (M.), chargé de Recherches, 35, rue Gay-Lussac,
Paris, 5^e.
- 1949 *m* FONT ALTABA (M.), professeur à la Faculté de Phar-
macie, Salou, 2, 2^e, Barcelone, (Espagne).
- 1951 FONTBOTÉ (M. J.), professeur adjoint, Laboratoire
de géologie, Université de Barcelone (Espagne).
- 1928 *m* FORD (H. A.), British Consulate General, 10, Post-
office Square, Boston, Mass. (E. U.).
- 1941 *m* FOUQUET (R.), ingénieur civil des Mines, docteur
ès sciences, 5, rue Pascal, Riom (Puy-de-Dôme).

- 1950 FOURNET, 5, place de la République, Armonville-lès-Gonesse (S.-et-O.).
- 1950 FRANKE (I.), chargé de recherches, Laboratoire de Cristallographie du S. R. C. T., 37, rue Dussoubs Paris, 2^e (5^e étage).
- 1950 FRANKLIN (M^{lle} R. E.), University of London, King's College, Strand W. C. 2., London, Angleterre.
- 1934 *m* FRIEDEL (E.), directeur de l'École Nationale Supérieure des Mines, 60, boulevard Saint-Michel, Paris, 6^e.
- 1952 FRIEDMAN (G. M.), Department of geology and geography, Old Tech. Building, University of Cincinnati, Cincinnati 21, Ohio (U. S. A.).
- 1949 FRONDEL (C.), mineralogical Laboratory, Harvard University, Cambridge, Mass. (U. S. A.).
- 1951 *m* FRUEH (A. J. jr.), department of geology, University of Chicago, Illinois, U. S. A.
- 1950 GALMES (R.), T. P. à Kolokan, Soudan (A. O. F.).
- 1949 GALMIER (D.), ingénieur E. F. G. N., Bureau de Recherches minières d'Algérie, Aïn-Sefra (Oran).
- 1950 *m* GALOPIN (R.), président de la Société Suisse de Minéralogie et de Pétrographie, conservateur de Minéralogie, Musée d'Histoire Naturelle, Genève (Suisse).
- 1933 *m* GARRIDO (J.), Lagasca, 123, Madrid, 6.
- 1914 GAUDEFROY (Abbé C.), docteur ès sciences, 1, rue Delpit, Rabat (Maroc).
- 1943 GAY (R.), maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Bordeaux, 20, cours Pasteur.
- 1946 GEFFROY (J.), Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon, Paris.
- 1945 *m* GENET (Albert), 44, rue de Tocqueville, Paris, 17^e.
- 1944 *m* GÈZE (B.), professeur de Géologie à l'Institut National Agronomique, 16, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.
- 1949 GLACON (J.), Service de la carte géologique, 14, boulevard Baudin (Alger).
- 1925 *m* GLANGEAUD (L.), doyen de la Faculté des Sciences de Besançon, Besançon.
- 1952 GLASER (L.), docteur ingénieur, 46, rue Léon-Bourgeois, Colombes (Seine).
- 1929 GOLDSZTAUB (S.), professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1909 *m* GRANDJEAN (F.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, Laboratoire de Minéralogie de l'École des Mines, 60, bd Saint-Michel, Paris.

- 1930 GRILL (E.), professeur de Minéralogie à l'Université de Milan (Italie).
- 1945 GRISON (E.), 12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.
- 1950 GRUND (A.), Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 GUIGUES (J.), ingénieur géologue au Service des Mines de Tananarive (Madagascar).
- 1951 *m* GUILLAUME (J.), Laboratoire de Minéralogie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1947 GUILLEMIN (C.), docteur en pharmacie, 22, rue Dorian, Paris, 12^e.
- 1947 GUINIER (A.), Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, Paris.
- 1951 GUITARD, chez M. Bastien, 68, rue de Malabry, le Plessis-Robinson (S.-et-O.).
- 1927 *m* GYSIN (M.), professeur de Minéralogie à l'Université de Genève, quai de l'École-de-Médecine, Genève, Suisse.
- 1939 HAMBURGER (R.), 720 South street, Globe, Arizona (U. S. A.).
- 1949 *m* HARKER (D.), Polytechnic Institute of Brooklyn, 55, Johnson Street, Brooklyn 1, N. Y. (U.S.A.).
- 1948 HAUSKNECHT (J. J.), Service des Mines, Brazzaville. A.E.F.
- 1946 *m* HENIN (S.), directeur du Laboratoire des Sols au Centre Agronomique de Versailles, route de Saint-Cyr, Versailles.
- 1950 HERPIN (M^{me} P.), assistante à la Faculté des Sciences, Laboratoire de Minéralogie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 *m* HILLY (M.), ingénieur géologue au Service de la Carte géologique d'Algérie, 14, bd Baudin, Alger.
- 1929 HOCART (R.), professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue V.-Cousin, Paris 5^e.
- 1948 *m* HOOKER (Miss M.), U. S. Geological Survey, Washington 25, D. C. (U. S. A.).
- 1938 HUPÉ (P.), professeur agrégé au Lycée Buffon, 9, square Charles-Laurent, Paris, 15^e.
- 1948 *m* INGERSON (E.), U. S. Geological Survey, Washington 25, D. C. (U. S. A.).
- 1937 INSTITUT de Minéralogie et de Pétrographie de l'Université de Berne (Suisse).
- 1929 INSTITUT de Minéralogie et Pétrographie de la Technische Hochschule, Charlottenburg (Allemagne).

- 1950 INSTITUT de Minéralogie de l'Université de Göttingen, Lotzestrasse, Göttingen (Allemagne).
- 1924 INSTITUT minéralogique et géologique de l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).
- 1937 INSTITUT de Minéralogie et de Pétrographie de l'Université de Turin (Italie).
- 1910 JACOB (Ch.), membre de l'Institut, professeur de Géologie à la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 JANIAK (S.), Lieusaint (Seine-et-Marne).
- 1951 *m* JARY (R.), ingénieur civil des Mines, chef de travaux de physique à l'E. N. S. des Mines, 11, rue Jules-Lemaître, Paris, 12^e.
- 1928 *m* JÉRÉMINE (M^{me} E.), docteur ès sciences, chargée de recherches du C. N. R. S., Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon, Paris, 5^e.
- 1938 JOURAVSKY (G.), ingénieur géologue, Service Géologique, Rabat (Maroc).
- 1920 JOURDAIN (A.), ingénieur chimiste I. G. P., 95, boulevard Montmorency, Paris, 16^e.
- 1945 JUNG (J.), professeur à la Faculté des Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1943 KASTLER (A.), professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue du Val-de-Grâce, Paris, 5^e.
- 1951 KERN (R.), Laboratoire de Minéralogie, Faculté des Sciences, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1950 *m* KIEFER (Ch.), ingénieur docteur, 112, avenue Victor-Hugo, Boulogne-sur-Seine (Seine).
- 1916 *m* KOZU (S.), professeur à l'Institut géologique de l'Université impériale, Sendai, Japon.
- 1947 KRAPIVINE (A.), ingénieur chimiste, 3, rue Pierre-Mille, Paris, 15^e.
- 1946 KRAUT (F.), Laboratoire de Minéralogie du Muséum d'Histoire naturelle, 61, rue de Buffon, Paris.
- 1934 *m* KRISHNAN (Dr M. S.), assistant superintendant Geological Survey of India, 27, Chowringhee, Calcutta, India.
- 1934 *m* KURYLENKO (C.), docteur ès sciences, chargé de recherches au Centre National de la Recherche Scientifique, 1, rue Descartes, Ivry-sur-Seine.
- 1937 LABORATOIRE d'hydrologie générale de l'Institut d'hydrologie et de climatologie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.

- 1908 LABORATOIRE de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- 1932 LABORATOIRE de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Montpellier.
- 1919 LABORATOIRE de Minéralogie de l'Université de Strasbourg, 1, rue Blessig.
- 1929 LABORATOIRE de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse.
- 1892 LABORATOIRE de Minéralogie et Pétrographie de l'Université de Belgrade (Serbie).
- 1922 LABORATOIRE de Minéralogie de l'Université de Bruxelles, 50, avenue des Nations, Bruxelles.
- 1926 LABORATOIRE de Minéralogie de l'Université de Liège, 9, place du XX-août, Liège (Belgique).
- 1929 LABORATOIRE ET MUSÉE de Minéralogie et de Géologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Lisbonne.
- 1950 LABORATOIRE des traitements chimiques de Vitry, 15, rue Georges-Urbain, Vitry-sur-Seine (Seine).
- 1947 LACOMBE P., maître de recherches à l'E.N.S.C.P., 11, rue Pierre-Curie, Paris, 5^e.
- 1950 LAFFITTE (P.), ingénieur du Corps des Mines, 14, rue de l'Abbé-de-l'Épée, Paris, 5^e.
- 1950 *m* LAMBOT, chef de Travaux à l'Université de Liège, Institut de Minéralogie et de Cristallographie, place du XX-Août, Liège (Belgique).
- 1943 LAPADU-HARGUES (P.), maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 3, avenue Vercingétorix, Clermont-Ferrand (P.-d.-D.).
- 1948 LAPLAINE (L.-J.), 11, rue Ambroise-Paré, Paris, 10^e.
- 1948 *m* LARSEN (E. S. III), Geological Survey, Washington 25, D. C. (U. S. A.).
- 1933 *m* LAVAL (J.), professeur de Physique théorique, Collège de France, place Marcellin-Berthelot, Paris, 5^e.
- 1945 LEGOUX, 72, route de Versailles, Petit-Clamart, Seine.
- 1950 LEGRAND (Ch.), sous-directeur du Laboratoire de rayons X au C.N.R.S. à Bellevue, 11, rue Lagarde, Paris, 5^e.
- 1950 LE MERCIER (M^{lle} M.), ingénieur-pétrographe du C.E.A., Pavillon Néerlandais, Cité Universitaire, 19, boulevard Jourdan, Paris, 14^e.
- 1930 *m* LEPAPE (A.), sous-directeur du laboratoire de Chimie-Physique à l'Institut d'Hydrologie et de Climato-

- logie (Collège de France), 52, rue de Bourgogne
Paris, 7^e.
- 1941 *m* LETORT (Y.), professeur à l'École Centrale des Arts
et Manufactures, 3, avenue Paul-Doumer, Paris, 16^e.
- 1948 LÉVY (C.), Laboratoire de Minéralogie du Muséum
d'Histoire Naturelle, 61, rue Buffon, Paris, 5^e.
- 1908 LIBRARY of Geological Survey, Department of Mines,
Museum and Office, Ottawa (Canada).
- 1923 *m* LONGCHAMBON (H.), professeur de Minéralogie à
la Faculté des Sciences de Lyon.
- 1920 *m* LONGCHAMBON (L.), professeur de Minéralogie à la
Faculté des Sciences de Nancy.
- 1950 LOUDE (R.), licencié ès sciences, Laboratoires des
Aciéries électriques à Ugine (Savoie).
- 1942 LUCAS (G.), assistant au Laboratoire de Géologie de
la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 LUZZATI (V.), attaché de Recherches du C. N. R. S.,
12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.
- 1920 MACHADO E COSTA (A. d'Oliveira), professeur à
l'Université de Lisbonne, R. Janelas Verdes, 64,
1^{er}, E. Lisbonne.
- 1939 MAGYAR NEMZETI MUZEUM, Section Minéra-
logique et Pétrographique, Budapest (Hongrie).
- 1931 MARIO DE JESUS (A.), professeur à l'Institut supé-
rieur technique, Lisbonne (Portugal).
- 1947 *m* MARTIN (H.), Laboratoire de Chimie C, Faculté des
Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris.
- 1932 *m* MARTIN DE THEZILLAT (Ch.-E.), Anguignier,
par Saint-Sébastien (Creuse).
- 1935 *m* MATHIEU (J.-P.), docteur ès sciences, 68, rue d'Alésia,
Paris, 14^e.
- 1950 MATHIEU-SICAUD (M^{lle} A.), 12, rue Rémy-de-
Gourmont, Paris, 19^e.
- 1951 MATSCHINSKI (M.), 11, rue de la Fontaine-Grelot,
Bourg-la-Reine.
- 1910 *m* MAUGUIN (Ch.), membre de l'Institut, professeur
de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 1, rue
Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1922 MELON (J.), chargé de cours à l'Université de Liège,
12, rue Armand-Stouls, Liège (Belgique).
- 1951 MENET (M.), licencié ès sciences, ingénieur au S. R. C. T.,
4, rue Ortolan, Paris, 6^e.
- 1948 MENNESSIER (A.), ingénieur, 79, bd Victor-Hugo,
Béthune (Pas-de-Calais).

- 1950 MERING (J.), 12, quai Henri IV, Paris, 4^e.
1948 MESTRAUD (J.), La Prugne (Allier).
1912 *m* MICHALON, ingénieur civil des Mines, 96, rue de l'Université, Paris, 7^e.
1925 MICHAUD (R.), directeur général de la Société marseillaise de Crédit, 75, rue Paradis, Marseille.
1949 *m* MICHEL (R.), chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, 3, avenue Vercingétorix, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
1914 MICHEL-LÉVY (A.), professeur à la Faculté des Sciences, membre de l'Institut, 26, rue Spontini, Paris, 16^e.
1948 MILLOT (G.), chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Nancy, 94, avenue de Strasbourg, Nancy (M.et-M.).
1936 MILON (Y.), professeur à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).
1951 MOLÉ (R.), ingénieur chimiste, Laboratoire de Minéralogie, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
1951 MONIER (J.-C.), ingénieur chimiste, Laboratoire de Minéralogie, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
1951 MONTENEGRO DE ANDRADE (M.), assistant, Laboratoire de Géologie-Minéralogie, Université de Coïmbra (Portugal).
1946 MOUTERDE (Abbé), professeur à la Faculté catholique, 25, rue du Plat, Lyon, 2^e (Rhône).
1948 MOUTON (J.), ingénieur géologue, Compagnie générale de Géophysique, 50, rue Fabert, Paris, 7^e.
1944 *m* MUNIER (P.), ingénieur des Arts et Manufactures, 48, rue de La Fontaine-Grelot, Bourg-la-Reine (Seine).
1947 NAGELSCHMIDT, Saint-Austell, Cornouaille (Angleterre).
1909 *m* NICOLARDOT, commandant, répétiteur à l'École Polytechnique, membre de la commission des poudres de guerre, 5, rue Jean-Bart, Paris, 6^e.
1951 NITHOLLON (P.), 8 rue Docteur-Pingat, Dijon (Côte-d'Or).
1942 NOETZLIN (J.), 43, avenue d'Iéna, Paris, 16^e.
1942 OLMER (Ph.), professeur à la Faculté des Sciences, directeur de l'E.N.S. de la métallurgie et de l'industrie des mines, 41, bd Albert 1^{er}, Nancy (M. et-M.).
1916 *m* ORCEL (J.), professeur de Minéralogie au Muséum national d'Histoire naturelle, 2, rue du Charolais, Paris, 12^e.
1948 ORLIAC (M.), chef de Travaux au Laboratoire de

Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse
Toulouse.

- 1923 *m* OULIANOFF (N.), professeur de Minéralogie, Université de Lausanne (Suisse).
- 1948 PAIDASSI (J.), Université de Concepcion, Casilla 169, Concepcion (Chili).
- 1927 PANICHI, professeur de Minéralogie à l'Université de Pavie (Italie).
- 1939 PAPASTAMATIOU (J.), chef de Travaux de Minéralogie et de Pétrographie à la Faculté des Sciences d'Athènes, 99 B, rue Mavromichali, Athènes (Grèce).
- 1941 *m* PASTURAUD (M^{lle} M.-T.), 16, rue de Rémilly, Versailles (Seine-et-Oise).
- 1949 *m* PATTERSON (A.-L.), Institut for Cancer research Fox Chase, Philadelphia II Penn. (U. S. A.).
- 1932 *m* PAVANS DE CECCATY, Compañia Andaluza de Minas Antonio Maura 10, Madrid, Espagne.
- 1950 PELLAS (P.), ingénieur-géologue du C.E.A., 12, rue du Sergent-Maginot, Paris.
- 1930 PÉRÉBASKINE (V.), ingénieur-géologue du Service géologique de l'A.O.F., 13, rue des Capins, Saint-Gaudens (Haute-Garonne).
- 1945 PERMINGEAT (F.), ingénieur civil des Mines, Service géologique du Maroc, Rabat.
- 1949 PERRIN (R.), directeur général adjoint de la Société d'Électro-Chimie d'Ugine, 10, rue du Général-Foy, Paris, 8^e.
- 1927 *m* PERROND (A.-P.), ingénieur des Mines.
- 1951 PETIT-LEDU (G.), 23, rue Pierre-Curie, Arcueil, Seine.
- 1949 PETITPAS (M^{lle}), 12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.
- 1952 PIERROT (R.), 10, rue Franklin, Sartrouville (S. et-O.).
- 1951 PIZY (M^{lle} M.), ingénieur chimiste, Laboratoire de cristallographie du S. R. C. T., 37, rue Dussoubs, Paris, 2^e.
- 1946 *m* POBEGUIN (M^{lle} Th.), chargée de Recherches au C. N. R. S., 23, rue Fourcroy, Paris.
- 1926 POITEVIN (E.), chef du service de minéralogie, Commission géologique du Canada, Ottawa.
- 1932 POLINARD (Ed.), ingénieur civil des Mines, 16, bd Louis Schmidt, Etterbeek-Bruxelles (Belgique).
- 1937 PORTEVIN (A.), professeur à l'École Centrale, 21, boulevard de Beauséjour, Paris, 16^e.
- 1948 POUGHON (A.), à Lachaux (P.-d.-D.).
- 1950 PROUVOST (J.), assistant au Laboratoire de Miné-

- ralogie du Muséum, 3, rue Jules-Auffret, Pantin (Seine).
- 1950 PRUVOST (P.), professeur à la Sorbonne, 5, place du Panthéon, Paris, 5^e.
- 1951 PRUVOT (P.), docteur ès sciences, 27, rue Jean-Lavaud, Fontenay-aux-Roses (Seine).
- 1912 PUYAUBERT (Dr L.), 14, rue Nationale, Tulle (Corrèze).
- 1928 PUZENAT (L.), ingénieur civil, géologue M.N.H.N., Dar Souari, avenue du Général-de-Lamothe, Marrakech-Palmeraie (Maroc).
- 1938 RAGUIN (E.), professeur à l'École nationale supérieure des Mines, directeur du Service de la Carte Géologique de la France, 16, rue Bertron, Sceaux (Seine).
- 1920 *m* RANDOIN (A.), 16, rue de l'Estrapade, Paris, 5^e.
- 1944 RAPPENEAU (J.), 6, rue Élisabeth-Lemonnier, Paris, 12^e.
- 1949 *m* RAVIER (J.), assistant au Laboratoire de Géologie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1926 *m* REINHARD, professeur de Minéralogie et de Pétrographie à l'Université de Bâle.
- 1935 RENAUD (P.), ancien élève de l'École Normale Supérieure, docteur ès sciences, chargé de Recherches du C.N.R.S., 74, rue Claude-Bernard, Paris.
- 1949 RERAT (C.), 26, rue du Lycée, Sceaux.
- 1945 *m* RILEY (D.-P.), The Royal Institution, 21 Albemarle street London w. 1 England.
- 1948 RIMSKY (A.), Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1927 RIVERA PLAZA (Gil), ingénieur des mines, professeur à l'École des ingénieurs, Apartado 1439, rue Afligidos, 137, Lima (Pérou).
- 1944 RIVIÈRE (A.), maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Laboratoire de Géologie S.P.C.N., 12, rue Cuvier, Paris, 5^e.
- 1939 RIVOLLIÉ (C.), ingénieur E.C.L., à Bourdeau (Savoie).
- 1932 ROGERS (A. F.), professeur émérite de Minéralogie, Stanford University, California (U. S. A.).
- 1948 *m* ROQUES (A.), professeur à la Faculté des Sciences, Clermont-Ferrand.
- 1940 ROSAS DA SILVA (D.), directeur du Laboratoire de Géologie et Minéralogie de la Faculté des Sciences de Porto (Portugal).

- 1944 *m* ROSE (A.-J.), docteur ès sciences, 13, rue Soufflot
Paris, 5^e.
- 1928 ROTON (vicomte G. DE), Le Vigneau, par Sauternes
(Gironde).
- 1932 ROUBAULT (M.), professeur à la Faculté des Sciences
École nationale supérieure de Géologie appliquée
94, avenue de Strasbourg, Nancy (M.et-M.).
- 1943 ROUTHIER (P.), agrégé de l'Université, Laboratoire de
Géologie, École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm
Paris, 5^e.
- 1924 *m* ROYER (L.), professeur de Minéralogie à la Faculté
des Sciences d'Alger.
- 1949 SABATIER (G.), docteur ès sciences, 31 *bis*, rue Cam-
pagne Première, Paris, 14^e.
- 1951 SAHAMA (Th. G.), professeur, Institute of geology,
Snellmanink 5, Helsinki (Finlande).
- 1947 *m* SALLÈLES (A.), 5, place de la Révolution, Béziers
(Hérault).
- 1948 SANDREA (A.-P.), Laboratoire de Minéralogie du
Muséum, 61, rue Buffon, Paris, 5^e.
- 1948 SARCIA (A.), 44, boulevard Jeanne-d'Arc, Montreuil
(Seine).
- 1948 SARCIA (M^{me} J.), 44, boulevard Jeanne-d'Arc, Mon-
treuil (Seine).
- 1936 SAUCIER (H.), assistant au Laboratoire de Minéra-
logie de la Faculté des Sciences de Paris, 1, rue
Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1949 *m* SCHAIRER (J. F.), Dr, Geophys. Lab. Carnegie Inst.,
2801 Upton Street, Washington D.C. (U.S.A.).
- 1903 *m* SCHALLER (W. T.), minéralogiste au Geological
Survey, Washington (U. S. A.).
- 1947 SCHEIBLING (G.), ingénieur-docteur, 25, quai Mullen-
heim, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1920 SCHOEP (A.), 97, rue Bandeloo, Gand (Belgique).
- 1927 SCIENCE LIBRARY, Science Museum, South Ken-
sington, Londres, S. W: 7 (Angleterre).
- 1948 SEGUELA, assistant au Laboratoire de Minéralo-
gie de la Faculté des Sciences de Toulouse, Toulouse.
- 1948 SENTENAC (R.), 15, rue Volta, Toulouse (Haute-Gar.).
- 1938 SERRE (H.), Saint-Laurent-le-Minier (Gard).
- 1949 SERVICE de la Carte géologique, boulevard Baudin,
Alger.
- 1923 SERVICE DES MINES de Madagascar, Tananarive.

- 1939 SERVICE DES MINES et de la carte géologique du Maroc, Rabat (Maroc).
- 1935 SERVICE géologique de l'Afrique Occidentale française, Dakar (A. O. F.).
- 1939 SERVIGNE (M.), maître de Conférences de Physique générale, Institut National agronomique, 16, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.
- 1951 SEVIN (R.), 86, rue Cardinet, Paris, 17^e.
- 1950 SOCIÉTÉ d'Histoire Naturelle d'Autun, M. Lacombe, secrétaire, 19, rue Saint-Antoine, Autun (S.-et-L.).
- 1952 SOCIÉTÉ des produits réfractaires de Fumel et Libos, 14, rue de Milan, Paris, 9^e.
- 1920 SOUSA TORRES (A. S.), Rua Campolide 74, terc. E., Lisbonne (Portugal).
- 1922 STEVANOVITCH (S.), Brankova, 34, Belgrade.
- 1938 *m* STORA (M^{lle}), Laboratoire de Chimie C, Faculté des Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris.
- 1948 TCHIMICKIAN (G.), minéralogiste à la Régie Autonome des Pétroles, Villa Claire-Fontaine, avenue de Toulouse, Saint-Gaudens (Hte-Garonne).
- 1941 *m* TERMIER (H.), professeur à la Faculté des Sciences, rue Michelet, Alger.
- 1951 THEVENIN (R.), ingénieur aux Charbonnages de France, 33, avenue Aristide-Briand, Verneuil (Oise).
- 1949 TOURNAY (M^{me} M.), Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1944 TROMBE (F.), maître de Recherches, 37, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.
- 1925 TUCAN (Dr F.), professeur de Minéralogie à l'Université de Zagreb (Yougoslavie).
- 1938 *m* TUNELL (G.), Dpt of Geology, University of California, 405 Hilgard Avenue, Los Angeles 24, California (U. S. A.).
- 1937 URBAIN (P.), directeur du Laboratoire d'Hydrologie et de Climatologie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 *m* VALDEAVELLANO (C.-G. DE), inspecteur des chemins de fer, Montesquenza, 11, Madrid (Espagne).
- 1937 VANDERMARCO (J.), directeur gérant de la Société « Kaolins et pâtes céramiques du Limousin », 16, boulevard Gambetta, Limoges.
- 1908 VÉSIGNIÉ (L.), colonel d'artillerie en retraite, 22, rue du Général-Foy, Paris, 8^e.
- 1941 VINCIGNE (H.), 11, rue Delambre, Lagny (S.-et-M.).

- 1947 VLES (M^{me}), professeur, 70, boulevard Wilson, Saint-Nazaire.
- 1951 VOIRIN (M.), 24, rue Jacques-Delille, Saint-Dié (Vosges).
- 1947 *m* VUAGNAT (M.), docteur ès sciences, assistant à l'Université de Genève, Onex, Genève.
- 1949 WALTER-LÉVY (M^{me}), professeur de Chimie, la Faculté des Sciences de Caen, Laboratoire de Chimie C, 1 rue Victor-Cousin, Paris.
- 1929 WEBER (L.), professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).
- 1931 WEIL, chef de travaux de Minéralogie, 1, rue Blesig, Strasbourg.
- 1950 WEILL (M^{me} A.-R.), 30, rue Washington, Paris, 8^e.
- 1949 *m* WICKMAN (F. E.), professeur, Swedish museum of natural history, department of mineralogy, Stockholm 50, Suède.
- 1949 *m* WOOD (M^{me} E. A.), Bell telephone laboratories, Murray Hill N. Y. (U. S. A.).
- 1929 *m* WYART (J.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1940 ZVEREFF (R.), Sana Gallouédec, Parigné-l'Évêque (Sarthe).
-

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1952. — BULLETIN DE JANVIER-MARS

Séance du 10 janvier 1952.

PRÉSIDENTENCE DE M. N. BOUBÉE, PRÉSIDENT SORTANT,
PUIS DE M. J. LAVAL, NOUVEAU PRÉSIDENT.

En ouvrant la séance M. N. BOUBÉE présente ses vœux personnels, ceux du Conseil et du Bureau aux Membres de la Société pour l'année 1952. Il donne lecture de la réponse de M. Ch. MAUGUIN, ancien Président, aux souhaits qu'il lui avait adressés, au nom de la Société, pour M^{me} MAUGUIN et pour lui-même. M. MAUGUIN, s'il ne peut assister à nos réunions, suit avec le plus grand intérêt tous nos travaux et fait ses meilleurs vœux pour la prospérité de la Société.

M. Boubée donne alors la parole à M. CURIEN, trésorier, pour la lecture du rapport financier annuel.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE ET DE CRISTALLOGRAPHIE

1951

Compte rendu financier.

RECETTES NORMALES

cotisations de membres ordinaires, à vie, perpétuels.....	153.255
intérêts du fonds de réserve.....	31.390
Total.....	184.645

RECETTES EXCEPTIONNELLES

Abonnements au Bulletin et vente de collections du Bulletin.	326.38
Subvention du C. N. R. S. pour la publication du Bulletin..	1.500.00
Subvention des Facultés pour impression de thèses dans le Bulletin.....	645.00
Total.....	2.471.38

DÉPENSES

Bulletin : frais d'impression et port.....	1.868.49
Frais de secrétariat.....	55.43
Société générale : droits de garde, et d'encaissement.....	2.33
Indemnité de la secrétaire-dactylographe.....	39.00
— du garçon de salle.....	5.00
Assurance contre l'incendie.....	2.13
Total.....	1.972.39

Provision pour paiement du Bulletin n° 7-12 de 1951 et pour achat de papier.....	800.00
--	--------

BALANCE DES COMPTES DE L'ANNÉE 1951

En caisse et à la Caisse d'Épargne au 1 ^{er} janvier 1951.....	1.579.79
Recettes normales en 1951.....	184.64
Recettes exceptionnelles en 1951.....	2.471.38
Total.....	4.235.82

En caisse et à la Caisse d'Épargne au 1 ^{er} janvier 1952.....	1.463.43
Dépenses de l'année 1951 et provision.....	2.772.39
Total.....	4.235.82

M. DEICHA lit ensuite le rapport des membres de la Commission de comptabilité : « Les membres de la Commission de comptabilité, MM. URBAIN, RERAT et DEICHA, ont examiné les comptes de l'exercice 1951 et ont constaté leur parfaite régularité. Ils proposent d'adresser à M. CURIEN les remerciements de la Société. »

Cette proposition est adoptée à l'unanimité des membres présents.

Avant de procéder au dépouillement du scrutin, M. BOUBÉE, Président, lit un télégramme de M. TERMIER demandant au

membres de voter pour M. J. LAVAL, puis commente la situation financière de la Société :

« Notre trésorerie est devenue très insuffisante pour assurer la publication régulière du Bulletin. Cette année il nous a été impossible de faire paraître les quatre fascicules habituels.

« Les frais d'impression augmentent chaque année considérablement ; le coût moyen de la page pendant ces dernières années a été : en 1949 de 1.230 fr., en 1950 de 2.250 fr., en 1951 de 2.900 fr. Et si nous devons publier en 1952 les quatre bulletins trimestriels, nous devons prévoir un engagement de dépenses d'environ 3.200.000 francs.

« M. le Secrétaire a enregistré à ce jour le dépôt de mémoires représentant la matière de 5 bulletins, soit jusqu'au premier trimestre 1953. Il est de toute importance de ne pas retarder la publication de ces mémoires.

« Afin de diminuer le déficit de l'année 1951, le C. N. R. S. nous a accordé un crédit exceptionnel complémentaire de 100.000 fr., nous le remercions bien vivement. Nous espérons que les subventions généreuses qu'il nous accordera en 1952 seront au moins égales à celles de 1951. Mais, même dans ces conditions, le déficit probable de l'année 1952 sera de l'ordre de 700.000 francs.

« Une telle situation a fait l'objet de nombreuses réunions de notre Conseil qui vous propose les mesures suivantes :

le relèvement du taux des cotisations :

— pour les membres ordinaires : 1.200 fr. (France) ⁽¹⁾,
1.800 fr. (étranger) ;

— pour les personnes morales (bibliothèques, instituts, laboratoires) : 1.800 fr. (France), 2.400 fr. (étranger) ;

) la suspension momentanée du droit de rachat des cotisations ;

le relèvement du prix de l'abonnement : 2.500 fr. (France),
8 dollars (étranger) ;

(1) Le taux est ramené de 1.200 fr. à 1.000 fr. pour les membres français s'acquittant de leur cotisation dans le courant du premier trimestre.

- d) le relèvement du prix de vente des collections complètes (170.000 fr.);
- e) des règles strictes en ce qui concerne la publication des mémoires qui seront tous soumis à l'examen du Comité de lecture, sous la présidence de M. Ch. MAUGUIN, assisté de MM. CHAUDRON, FRIEDEL, HOCART, ORCEL et WYART.

« La Société ne pourra prendre à sa charge que les mémoires ne dépassant pas une dizaine de pages, le supplément étant aux frais de l'auteur.

« Les mémoires très courts passeront en priorité.

« D'autre part, l'impression des thèses ne sera possible que si elles ne dépassent pas une cinquantaine de pages et si au moins la moitié des frais est couverte par une subvention extraordinaire. »

Toutes ces mesures mises aux voix sont adoptées à l'unanimité.

Enfin M. BOUBÉE expose son projet de demande de subventions aux entreprises industrielles. Il demande à tous les membres de la Société qui peuvent toucher utilement les dirigeants des entreprises, de solliciter un appui financier tant pour la publication du Bulletin que pour un éventuel colloque international à l'occasion du 75^e anniversaire de la Société.

Il remercie MM. ORCEL et LETORT qui ont bien voulu se charger de faire appel à divers organismes et sociétés. C'est une œuvre d'assez longue haleine à poursuivre éventuellement pendant plusieurs années.

M. BOUBÉE termine en espérant que dans cette voie il sera possible, d'assurer pour l'avenir une bonne marche financière de la Société.

Les membres présents sont ensuite appelés

— à élire trois membres du Conseil en remplacement de MM. P. LACOMBE; G. DEICHA et A. JOURDAIN.

MM. JUNG, KRAPIVINE et GUILLEMIN sont élus à l'unanimité :

— à renouveler dans leur mandat : le trésorier, le bibliothécaire, le secrétaire adjoint et le secrétaire général.

MM. CURIEN, KURYLENKO, RERAT et ROSE sont réélus à l'unanimité.

Résultats du scrutin :

Nombre de votants : 134.

Ont obtenu :

Pour la Présidence :	M. J. LAVAL.....	97 voix
	M. H. TERMIER....	33 »
	Divers.....	4 »
Pour la Vice-Présidence :	M. P. CHEVENARD .	131 voix
	M. R. GAY.....	127 »
	Divers.....	2 »

M. J. LAVAL est donc proclamé Président, MM. P. CHEVENARD et R. GAY, Vice-Présidents.

M. N. BOUBÉE fait alors un rapide exposé du développement et de l'activité de la Société en 1951 : communications nombreuses, suivies fort souvent de discussions animées, présentations remarquables d'échantillons, descriptions et présentations d'appareils nouveaux et il remercie encore tous nos Confrères qui ont donné à nos réunions tant de vie et d'intérêt.

Il rappelle également l'importance et la qualité des travaux et mémoires originaux publiés dans notre Bulletin dont la présentation est sans cesse améliorée par les soins vigilants de notre Secrétaire Général, M. Rose, qui consacre au Bulletin et avec succès une grande part de son temps.

Après avoir exprimé ses sentiments de reconnaissance envers les Membres de la Société et ceux du Conseil pour leur extrême bienveillance à son égard et leur aide si précieuse, il adresse ses vifs compliments aux Membres du Bureau, particulièrement à M. Rose, infatigable Secrétaire Général et à M. Curien, très méthodique Trésorier.

M. N. Boubée est heureux de présenter à M. Jean Laval les félicitations affectueuses de tous nos Confrères pour son élection à la présidence de la Société. Les travaux de M. Jean Laval par leur qualité, par leur importance et leur capital intérêt ont un retentissement mondial et assurent à leur auteur la parfaite audience de la Science contemporaine. « Et comme le savant professeur au Collège de France est aussi et avant tout notre ami, c'est à la fois joie et honneur que l'avoir pour Président. »

M. N. Boubée adresse également ses félicitations à MM. Chévenard et Gay, élus vice-Présidents, puis cède le fauteuil présidentiel à M. Laval.

M. LAVAL remercie tous les Membres de la Société qui l'ont appelé à la Présidence. Il rend hommage aux grandes qualités de M. Boubée, Président sortant. M. Boubée, minéralogiste très distingué, a été un administrateur hors pair. Son habilité, ses nombreuses relations, sa très grande amabilité font de lui un administrateur né. Succéder à un tel Président est une tâche difficile. M. Laval rappelle ensuite l'essor de la cristallographie depuis 1912, les travaux de pionniers, de Bragg, de M. Mauguin. Il rappelle aussi les beaux travaux des minéralogistes et évoque la mémoire de M. Lacroix. Il montre enfin, comment la cristallographie qui constitue l'essentiel de l'étude des solides, est la science d'actualité par excellence ; les applications industrielles de plus en plus nombreuses et de plus en plus fécondes, les progrès rapides des grandes théories physiques sur le champ de forces qui règne dans les cristaux, sont les avantages et les joies que nous procurent ces sciences auxquelles nous nous sommes consacrés.

Membres nouveaux.

M^{me} FERREIRA, M^{lle} BOURNAZEL, MM. MENET et FRIEDMAN, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentations.

M. FRANCISCO FABREGAT-GUINCHARD, F. S. C., docteur ès sciences, Sadi-Carnot, 34, Mexico, D. F., Mexique, présenté par MM. Garrido et Rose.

M. René COULOMB, ingénieur au C. E. A., 13, rue du Dr-Dejeune, Paris, 20^e, présenté par MM. Guillemin et M^{lle} Le Mercier.

M. Roland PIERROT, 10, rue Franklin, Sartrouville (S.-et-O.), présenté par M. Guillemin et M^{lle} Le Mercier.

SOCIÉTÉ DES PRODUITS RÉFRACTAIRES DE FUMEL ET LIBOS, 14, rue de Milan, Paris, 9^e, présentée par MM. Boubée et Letort.

M. Louis GLASER, docteur-ingénieur, 64, rue Léon-Bourgeois, Colombes, Seine, présenté par MM. Wyart et Rose.

M. GONI, professeur à la Faculté de chimie et pharmacie de Montevideo, Uruguay, présenté par MM. Orcel et M^{lle} Cailière.

M. G. POUIT, géologue au Ministère des Colonies, 88, avenue d'Italie, Paris, 13^e, présenté par MM. Barrabé et Orcel.

M. P. LANCAGNE, 54, rue de la Convention, Paris, 15^e, présenté par MM. Geoffroy et Orcel.

Communications.

1^o M. A. GRUND et M^{lle} PIZY : *Structure cristalline du méta-silicate de soude anhydre.*

Les auteurs décrivent la structure cristalline de Na_2SiO_3 , groupe spatial $mc - C_{2v}^{12}$. Ils projettent des diagrammes de Patterson et de Fourier Bragg et mettent en évidence des chaînes $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ alignées dans la direction c du cristal orthorhombique. Les chaînes sont reliées par les sodium entourés de 5 oxygène.

Suit une discussion animée par M. Wyart qui s'étonne de la coordinence faible du sodium et par M. Luzzati qui compare cette coordinence du Na à celle qu'il a trouvée dans l'hydroxyde de sodium.

2° M. H. CURIEN : *Étude des ondes élastiques dans le réseau cubique centré du fer α .*

L'auteur rappelle les travaux très divers des différents auteurs sur la dynamique des réseaux et montre comment grâce à la théorie de M. Laval, on peut remonter des mesures expérimentales absolues du pouvoir diffusant des rayons X monochromatiques par des monocristaux, aux ondes d'agitation thermique qui se propagent dans le cristal. De la connaissance complète de ces ondes, on peut déduire les valeurs numériques des forces de rappel qui agissent sur les atomes dans le réseau. On peut retrouver également les coefficients d'élasticité et la chaleur spécifique du cristal. L'étude expérimentale de la diffusion des rayons X par des monocristaux de fer α a ainsi permis l'étude complète de la dynamique du réseau cubique centré.

Suit une discussion animée par M. Pellas qui demande des renseignements sur la théorie de Pauling relative à la liaison métallique ; M. Bénard qui suggère des études sur la diffusion atomique dans les métaux. L'auteur de la communication remercie enfin MM. Chaudron et Lacombe qui lui ont fourni les monocristaux de fer très purs indispensables pour ses expériences.

Présentation d'échantillons.

M. GUITARD présente une série d'échantillons remarquables :

Grenats du groupe grossulaire-andradite.

Ces minéraux s'observent dans les calcaires métamorphiques, soit calcaires paléozoïques métamorphisés par le granite à biotite (granite carbonifère post-tectonique), soit cipolins inclus dans les migmatites et souvent en relation avec un granite leucocrate à tendance aplito-pegmatitique (granites congénères syntectoniques).

Pic Barbet (Massif du Canigou) : rhombododécaèdres (110) avec (211) rarement (321) associés à du diopside granulaire. Les cristaux présentés, rouge hyacinthe, mesurant de 5 mm.

à 2 cm., peuvent rivaliser par leur qualité avec la célèbre « essonite » d'Ala (Piémont).

Pic de Costabonna (près de la Preste) : rhombododécaèdres (110) avec (211) cristaux de 1 à 2 cm., brun foncé dans une grenatite.

Py (près Vernet-les-Bains) : cristaux incolores mesurant de 2 à 8 mm., trapézoèdres (211) associés à (110), avec idocrase vert pâle, dans géode de grenatite.

Roca Jalera : trapézoèdres (211) striés parallèlement à l'arête, brun rouge, mesurant 6 cm. de diamètre.

Ludwigite.

Ce minéral, borate de fer et de magnésium (Mg_2FeBO_5) a été trouvé dans les contacts du pic de Costabonna, seule localité où il est, jusqu'à présent, connu en France. Il se présente sous forme de fines fibres noires, soyeuses, mesurant jusqu'à 1 cm., et en agrégats fibroradiés s'isolant en sphérules. La ludwigite est un minéral spécifique des contacts métasomatiques dans les dolomies où il est toujours associé à la magnétite.

Séance du 14 février 1952.

PRÉSIDENCE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

MM. R. COULOMB, F. FABREGAT-GUINCHARD, L. GLASER, R. PIERROT, GONI, G. POUIT, P. LANCAGNE et la SOCIÉTÉ DES PRODUITS RÉFRACTAIRES DE FUMEL ET LIBOS, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentation.

M. J. CLASTRE, assistant à la Faculté des Sciences de Bordeaux, 20 cours Pasteur, Bordeaux, présenté par MM. Gay et Rose.

*
* *

En ouvrant la séance, M. Laval, Président, fait part aux membres d'une circulaire annonçant que le 3^e Congrès Céramique international aura lieu à Paris du 12 au 17 mai (1).

M. WYART présente ensuite des tirages à part de M. DELAVALT : « Improved dithizone field test for heavy metals in water » et « Biogeochemistry and hydrogeochemistry », qui en fait don à la Société.

Communications.

1^o M. DÉRIBÉRE : *Présentation d'« enceintes à vide »*.

L'auteur présente des enceintes à vide constituées d'une ampoule et d'une embase. L'ampoule à base métallique avec queusot est obtenue par scellement verre-métal. Cette ampoule se soude par simple soudure à l'étain sur l'embase munie de traversées de courant. Ces ensembles permettent de mettre des préparations dans le vide ou dans une atmosphère contrôlée, de façon commode.

M. Wyart s'intéresse ensuite aux applications possibles de ces enceintes qui pourront rendre de grands services.

2^o M. DUNOYER : *Présentation d'un nouvel appareil*.

L'auteur décrit une chambre Debye-Scherrer à basse température. L'échantillon, dont le centrage est réalisé par construction, est baigné dans un courant d'air très froid. On contrôle la température à chaque instant avec un couple thermoelectrique entre -155° et $+200^{\circ}$ à $\pm 1^{\circ}$.

Après cette communication M. Wyart demande des précisions sur les possibilités de cet appareil qu'il compare à celui qu'il a utilisé dans le même but.

3^o M. SABATIER : *Texture et biréfringence de la nacre*.

La nacre est formée d'une association de cristallites d'aragonite cimentés par une faible quantité de matière organique. M. Sabatier a étudié leur disposition par diffraction des

(1) Pour tous renseignements, s'adresser à la Maison de la Céramique, 44, rue Copernic, Paris, 16^e.

rayons X et confirmé en partie les résultats d'études antérieures. Il explique à l'aide de ces données les propriétés biréfringentes anormales de la nacre.

4^o MM. J. M. COTELO-NEIVA, A. RIMSKY et A. SANDRÉA :
Sur une variété stanifère d'une gahnite au Portugal.

Le minéral octaédrique accuse des anomalies physiques (biréfringence zonale et uniaxiale apparente) et chimiques $2 (Al_2 O_3 ZnO) SnO$. Les rayons X confirment un spinelle classique, affecté d'une macle suivant le plan (100). L'étain serait introduit en remplacement isomorphique partiel du zinc. $Sn/Zn=1/3$.

A la suite de cette communication, M. Wyart s'étonne du manque de précision dans le taux de l'oxygène. Il demande qu'une nouvelle analyse chimique soit faite. D'autre part, M. Guillemin signale que ces erreurs pourraient provenir d'une erreur sur la densité; il a observé lui-même plusieurs zones sur ce minéral. Les mesures correctes de densité ne peuvent être faites que sur des parties homogènes, finement pulvérisées et préalablement dégazées.

Séance du 13 mars 1952.

PRÉSIDENCE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT.

Membre nouveau.

M. J. CLASTRE, présenté à la dernière séance, est proclamé Membre de la Société.

Présentations.

M^{lle} M.-M. ROOS, licenciée ès sciences, 6, rue Dalou, Paris, 15^e, présentée par MM. Curien et Rose.

M. Ch. WALKER, Ph. Dr., 178, boulevard Malesherbes, Paris, 8^e, présenté par MM. Fournet et Guinier.

*
* *

En ouvrant la séance, M. LAVAL, Président, fait part aux membres de la récente élection de M. F. Blondel, ancien Président, au titre de « Foreign Member » de la Geological Society of London ; puis, lit le compte rendu, de M. Déribéré, de la dernière réunion de la Fédération Française des Sociétés de Sciences naturelles :

« L'Assemblée Générale ordinaire de la Fédération Française des Sociétés de Sciences naturelles s'est tenue le samedi 23 février 1952 à 17 h au Muséum d'Histoire Naturelle sous la présidence de M. J.-M. Rouet.

« La Société Française de Minéralogie et de Cristallographie y était représentée par MM. Boubée, Déribéré et Guillemin.

« Après élections au Conseil, qui vit la réélection des Membres sortants, furent donnés les comptes rendus de l'année biologique, de l'Office de Faunistique du Comité Français pour les sciences biologiques, puis le rapport financier et le rapport sur le fonctionnement de la Fédération.

« Une discussion eut lieu sur l'opportunité de la création d'un périodique de diffusion des sciences naturelles à grand tirage. Un projet sera soumis au Conseil lors d'une prochaine réunion, l'aide technique des délégués présents étant assurée mais les difficultés de l'entreprise ayant été soulignées. »

M. DÉRIBÉRE.

*
* *

Présentation d'échantillons.

M. le colonel VESIGNIÉ présente quelques échantillons spectaculaires, provenant de sa collection personnelle :

— Plusieurs cristaux de fluorine rose :

un gros octaèdre, atteignant 8 cm. d'arête, parfaitement transparent, provenant de l'Aiguille du Peigne, près de Chamonix (Haute-Savoie) ;

un groupe formé par la réunion de 3 gros octaèdres, trouvé aux Courtes — Mer de Glace — Chamonix (Haute-Savoie);

trois échantillons provenant de différentes localités suisses, dont l'un, provenant du Saint-Gothard, est constitué par quatre octaèdres, de 4 cm. d'arête, parfaitement limpides et colorés;

enfin, un gros cristal de couleur rose pâle, provenant de Hollenbachasch, près de Salzburg.

— Des spécimens de lazurite (lapis-lazuli), dont un bloc de 2 kg. 850, d'une magnifique couleur et d'une rare qualité lapidaire et surtout des cristaux isolés et sur gangue, provenant de l'Afghanistan; ce sont des dodécaèdres rhomboïdaux, de 3 à 4 cm. de diamètre de couleur bleu terne, à faces non réfléchissantes, qui se trouvent dans un calcaire saccharoïde blanc.

— Des échantillons de zincite cristallisée de Franklin Hill (New-Jersey, U. S. A). La zincite est accompagnée par les espèces rares (hodgkinsonite, chlorophaenite, etc...) qui ont fait la réputation de ce gîte et qui sont à peu près introuvables aujourd'hui. Les cristaux de zincite dépassent rarement 2 cm., mais sont remarquablement complets.

— Des spécimens de descloizite et de vanadinite du Tsumeb, Sud-Ouest Africain, en particulier, un groupe (25 × 16 × 7 cm.) de gros cristaux (4 à 5 cm.) de descloizite, qui est sans doute un des meilleurs spécimens existant. Des cristaux de vanadinite, prismes hexagonaux avec face du dôme; ces cristaux qui atteignent 12 cm. et sont biterminés ont été rarement trouvés dans de l'argile, ce qui explique la perfection de leur forme.

— Enfin, un cristal polysynthétique d'argyrite, pesant 5 kgs et ayant 16 cm. de diamètre, ses formes peu nettes sont celles du cube avec de petites troncatures sur les angles.

M. Laval remercie et félicite chaleureusement M. le colonel Vésignié.

Communications.

1° M^{me} A. R. WEILL : *Figures de croissance du carbure de silicium.*

Il a été récemment reconnu que la croissance des cristaux s'opérait dans certains cas à partir des dislocations en hélices. Les cristaux de carbure de silicium examinés par l'auteur présentent soit des figures de croissance avec des spirales visibles à faible grossissement, soit des accidents de surface sur lesquels des réseaux très serrés de spires enchevêtrées apparaissent sous fort grossissement. Celles-ci se relient aux figures macroscopiques du même cristal.

Cette communication, illustrée de nombreuses projections, est suivie d'une discussion, à laquelle prennent part MM. Wyart, Orcel et Cabrera, qui souligne les points nouveaux et originaux des travaux de M^{me} Weill, en particulier, l'observation des figures de croissance en spirale sur le quartz.

2° M. P. BORDET : *Une nouvelle platine théodolite (réalisation pratique).*

L'auteur présente la réalisation pratique de la platine théodolite dont le principe, décrit en 1951 dans le Bulletin de la Société, a conduit à adopter un certain nombre de solutions différentes de celles qui avaient été envisagées initialement. La platine ainsi obtenue rend des services analogues à une platine à cinq axes de modèle classique.

Après cette communication, M. Wyart s'intéresse aux difficultés de construction de l'objectif pour lumière convergente qui ne pourra être achevé que dans quelques mois.

Le Président remercie vivement les auteurs de leurs intéressantes communications.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE
ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1952. — BULLETIN D'AVRIL-JUIN

Séance du 3 avril 1952.

PRÉSIDENTE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

M^{lle} Roos et M. WALKER, présentés à la dernière séance, ont été proclamés membres de la Société.

Présentations.

M. J. BOULANGER, ingénieur géologue E. N. S. G. Service des mines de Madagascar, Tananarive, présenté par MM. Besairie et Roubault.

M. Olaf Anton BROCH; professeur de minéralogie, department of mineralogy, University of Punjab, Lahore, Pakistan, présenté par MM. Millot et Rose.

M. Taroun BHATTACHARYA, College engineering and technology de Calcutta, E. N. S. G., 48, boulevard de Strasbourg, Nancy (M.-et-M.), présenté par MM. Branche et Geffroy.

M. F. GUITARD, 27, rue de la Cloche-d'Or, Perpignan, (P.-O.), présenté par MM. Orcel et Geffroy.

M. Hans SCHNEIDERHÖHN, docteur, professeur, directeur de l'Institut minéralogique de l'Université, Sonnhalde, 10, Freierg-in-Brisgau, Allemagne, présenté par M. l'abbé Bordet et M. Geffroy.

*
* *

Après l'adoption du procès-verbal, M. BOUBÉE, ancien président, se fait l'interprète de tous les Membres, pour féliciter M. LAVAL, président de notre Société, et M. JUNG, membre du Conseil, qui viennent d'être récemment promus chevaliers de la Légion d'honneur.

*
* *

Présentation d'échantillons.

M. SANDRÉA présente des échantillons du gisement de pechblende lithique d'Erajärvi (Finlande centrale) : amblygonite, mica, gilbertite, lépidolite, columbite, apatite manganésifère, béryl rose, topaze bleue, triplite, constituant un ensemble d'une richesse de variétés rarement atteinte.

Communications.

1° M. DÉRIBÉRÉ : *La couleur et les minéraux.*

La couleur était, jadis, un facteur prédéterminant que les nouvelles méthodes physiques ont quelque peu relégué à l'arrière-plan. Elle conserve pourtant bien souvent son intérêt, surtout lorsque l'on peut la préciser spectralement. Les problèmes généraux de la couleur font actuellement l'objet de différentes recherches qui se trouvent conjuguées dans les efforts du Centre d'Information de la Couleur où les minéralogistes se doivent d'être représentés.

M. Sandréa souligne l'importance du problème soulevé par M. Déribéré et montre les difficultés qui peuvent intervenir.

M. Crussard en prenant des exemples dans les cristaux métalliques met en évidence le rapport entre la couleur et les défauts submicroscopiques de la structure des couches sous-jacentes.

2° M. J. GUILLAUME : *Analyse spectrométrique précise de la diffraction des rayons X par des cristaux de quartz en vibration.*

Une analyse précise du rayonnement monochromatique diffracté par un cristal de quartz en vibration montre que

domaine angulaire de réflexion sélective augmente de 25 % au premier ordre, de 70 % au deuxième ordre et 51 % au troisième ordre; en même temps le pouvoir réflecteur absolu est multiplié par 2,2 au premier ordre, 3,2 au deuxième ordre et 2 au troisième ordre. De plus, la dilatation thermique de quelques degrés centigrades que présente le cristal est très nettement mise en évidence.

Après cette communication, MM. Wyart et Laval soulignent les difficultés qu'a dû surmonter M. Guillaume et montrent l'intérêt de son appareillage.

M. Crussard demande des précisions sur la fidélité des mesures d'intensité.

3^e MM. P. BORDET et J. GEFFROY : *Enclaves d'ilménite dans les basaltes du Tahalra (Hoggar)*.

Les auteurs décrivent des enclaves découvertes dans des laves coulées basaltiques du Hoggar : elles sont composées d'ilménite grenue avec un peu de magnétite et de pyrite.

Le Président remercie chaleureusement tous les auteurs de leurs intéressantes communications.

Séance du 8 mai 1952.

PRÉSIDENCE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

MM. BHATTACHARYYA, BOULANGER, BROCH, GUITARD et SCHNEIDERHÖHN, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentations.

M. David SAYRE, Dr Sc., The Eldridge Reeves Johnson Foundation for medical physics, Université de Pennsylvanie, Philadelphia, 4, Pa., U. S. A., présenté par M. et Mme J. D. H. Donnay.

M. U. A. PALM, assistant à l'Institut Minéralogique de l'Université d'Utrecht, présenté par M. Nieuwenkamp, directeur de l'Institut et M. Deicha.

M. Pierre BLOR, ingénieur-chimiste, Laboratoire de pétrographie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e, présenté par MM. Junot et Ravier.

*
* *

En ouvrant la séance, le Président se fait l'interprète de tous les membres, en adressant à M^{me} VLÈS l'expression de ses vives condoléances, à l'occasion de l'inhumation définitive de son mari, tué en mission aérienne au-dessus de la Rhur en 1944.

*
* *

Communications.

1^o M. HEMILY : *Structure cristalline de la soude à quatre molécules d'eau.*

NaOH. 4 H₂O cristallise ($F = -5^{\circ}\text{C}$) dans le système monoclinique, groupe de symétrie C2. La maille contient 4 molécules, ses paramètres sont $a = 15,47 \text{ \AA}$, $b = 4,04 \text{ \AA}$, $c = 9,44 \text{ \AA}$ et $\beta = 117^{\circ}15'$. La structure a été résolue par l'interprétation de la fonction de Patterson calculée dans l'espace à trois dimensions. Les atomes d'oxygène sont avec les atomes de Na aux sommets de tétraèdres dont les centres sont occupés par les atomes d'oxygène de l'eau (avec liaisons hydrogènes entre ces atomes et les autres atomes d'oxygène); distance oxygène-sodium : 2,36 Å. On reconnaît le groupe OH par la disposition différente des atomes qui l'entourent : il échange cinq liaisons hydrogène. Autour de chaque atome de sodium se trouvent cinq atomes d'oxygène à des distances comprises entre 2,35 et 2,38 Å.

MM. Grison, Grund, Luzzati et Wyart, animent la discussion qui porte sur le rôle de l'eau en général, dans les hydrates et sur la position de l'ion Na dans la structure exposée.

2° M. KURYLENKO : *Analyse thermique et pondérale de quelques tourmalines.*

Exposé des résultats expérimentaux sur des échantillons de avite, de tourmaline noire de Nevéglise (Cantal) et de rubelle de San Diego.

M. Orcel demande des précisions sur l'interprétation des analyses thermiques et M. Boubée sur la liaison entre décoloration et déshydratation. M. Chevenard fait remarquer le grand intérêt du tracé des courbes dérivées à condition de connaître parfaitement la courbe primitive tracée continûment. Il se félicite de voir que la balance qui porte son nom puisse rendre aux minéralogistes des services très appréciables.

3° M^{lle} POBEGUIN : *Présentation de photographies.*

L'auteur présente une série de beaux clichés montrant des cristallisations microscopiques de carbonate de calcium, obtenues par double décomposition d'un carbonate alcalin et d'un sel soluble de calcium.

Cette présentation est suivie d'une intéressante discussion, animée par MM. Wyart et Jung, sur les facteurs déterminant l'apparition préférentielle des diverses formes des carbonates de calcium in vivo, et in vitro.

Séance du 12 juin 1952.

PRÉSIDENCE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT.

Membres nouveaux:

MM. P. BLOT, U. A. PALM et D. SAYRE, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentations.

M^{lle} Cécile ROUGER, chimiste au Laboratoire de géologie et minéralogie de la Faculté des Sciences, 3, avenue Vercingé-

torix, Clermont-Ferrand, présentée par MM. Roques et Lap du-Hargues.

M. J. L. JAEGER, ingénieur géologue, 38, quai d'Orléans Paris, 4^e, présenté par MM. Wyart et Orcel.

*
**

En ouvrant la séance, M. LAVAL, président, signale aux membres que les années épuisées du *Bulletin* : 1880, 1900 et 1926, ont été réimprimées par procédé photomécanique, sont en vente chez Masson.

*
**

Présentation d'échantillons.

1^o M. SANDRÉA présente des échantillons provenant de calcaires et gisements métallifères de Finlande. *Cipolins pyroxènes*, *chondrodite*, *pargasite*, *scapolite* de Pargas; *granatites à pyroxènes* et *spinelle chondrodite* de Silballe; roches à *chromo-silicates* d'Outokumpu; *brèches à tourmaline*, *mispickel*, *scheelite* de Yuojarvi.

Discussion animée par MM. Orcel et Wyart.

2^o M. J. ORCEL signale aux membres de la Société que la collection de Minéralogie du Muséum vient de s'enrichir de deux magnifiques échantillons :

a) Un monocrystal de *niobo-tantalite*, pesant une trentaine de kilos et provenant de Maliakalina (filon Brière, F. sur la Matsiatra (Madagascar).

Cet échantillon a été donné par le Commissariat à l'Énergie Atomique à la demande de M. J. Béhier.

b) Un groupe de grands cristaux de *bastnaesite* (pesant 40 kg) et provenant d'Andakatany (région d'Ambositra Madagascar, donné par le Bureau minier de la France d'Outre-Mer, par les soins de M. Izambert, à la demande de M. J. Béhier,

Les cristaux de cet agrégat montrent souvent les plans de séparation suivant a (0001).

Communications.

1^o M. MATSCHINSKI : *Deux hypothèses sur les causes provoquant la formation du bifeuille de Popoff.*

En dépit des nombreuses observations sur la formation des cristaux sphériques, en général, et spécialement sur la formation du bifeuille, les causes physiques provoquant la naissance et la croissance de ces formations ne sont pas encore claires. On peut faire deux hypothèses différentes sur les formes en question. La première a été faite par B. Popoff lui-même (1934), elle consiste à voir la cause primordiale dans l'existence de deux vitesses différentes de cristallisation pour les deux phases formant le bifeuille. Elle a été développée par les élèves de Popoff, entre autres par Choubnikov (1936) et par l'auteur (1943).

La deuxième hypothèse qui est proposée par l'auteur, consiste à chercher les causes de ce phénomène dans l'existence de pressions internes dues à l'impossibilité de remplir une partie sphérique d'espace avec des figures d'une seule forme. Jus qu'à la pression critique de la deuxième phase, cette dernière tend à naître. Pour soutenir cette pression un changement de rapport entre les parties de la sphère occupées par l'une et l'autre phase est nécessaire, ce qui forme le bifeuille.

2^o MM. Ch. LEGRAND, J. BARRAUD et P. CARTIER : *Étude radiocristallographique du mélange phosphate tricalcique α et carbonate de calcium.*

Étude radiocristallographique, dans le cadre de recherches sur l'ossification, du mélange phosphate tricalcique α — carbonate de calcium. Essai de détermination de la teneur minimum en carbonate de calcium décelable par les rayons X. Exposé des premiers résultats.

Prendront part à la discussion : M^{lles} Pobeguïn et Stora, M. Kurylenko, Luzzati et Wyart.

3^o M^{me} P. HERPIN : *Structure cristalline du carbonate acide de potassium.*

Les cristaux sont monocliniques ; le groupe de symétrie est C_{2h} . La maille élémentaire contient quatre molécules CO_3KH .

$a = 15,01$, $b = 5,50$ et $c = 3,67$ Å. Les ions CO_3 sont liés entre eux par des liaisons H^+ . Les distances $\text{C}-\text{O}$ de l'ion CO_3 ne sont pas toutes identiques : 1,24 Å, 1,28 Å et 1,28 Å. Les ions K sont entourés de 8 oxygènes à des distances comprises entre 2,65 et 3,2 Å.

Discussion par MM. Wyart et Luzzati.

4° M. P. BORDET : *Utilisation de l'interféromètre de M. Nemarski pour la comparaison des indices des minéraux en plaques minces. Présentation d'appareil.*

Jusqu'ici la détermination quantitative des indices des minéraux en plaques minces était pratiquement impossible. L'appareil présenté comble en grande partie cette lacune. Il permet de faire interférer deux rayons lumineux qui ont traversé deux milieux d'indice différent et d'en déduire le rapport de leurs indices.

La comparaison des indices des cristaux se présente alors dans des conditions analogues à la détermination des biréfringences par les méthodes classiques en lumière polarisée.

M. Saucier demande à l'auteur quelques précisions sur le mode d'utilisation de l'appareil.

Le Président remercie vivement les auteurs de leurs intéressantes communications.

COMITÉ DE NOMENCLATURE

Le Conseil d'Administration de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie, dans sa séance du 12 juin 1955, a décidé la création d'un *Comité de Nomenclature*, qui siégera au Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, 1, rue Victor Cousin, Paris, 5^e, et qui sera composé de M^{lle} CAILLÈRE, MM. GUILLEMIN, ORCEL, PERMINGEAT et WYART.

Le but principal de ce Comité sera de sanctionner la création des espèces minérales nouvelles et d'uniformiser la nomenclature, en accord avec les Comités étrangers analogues.

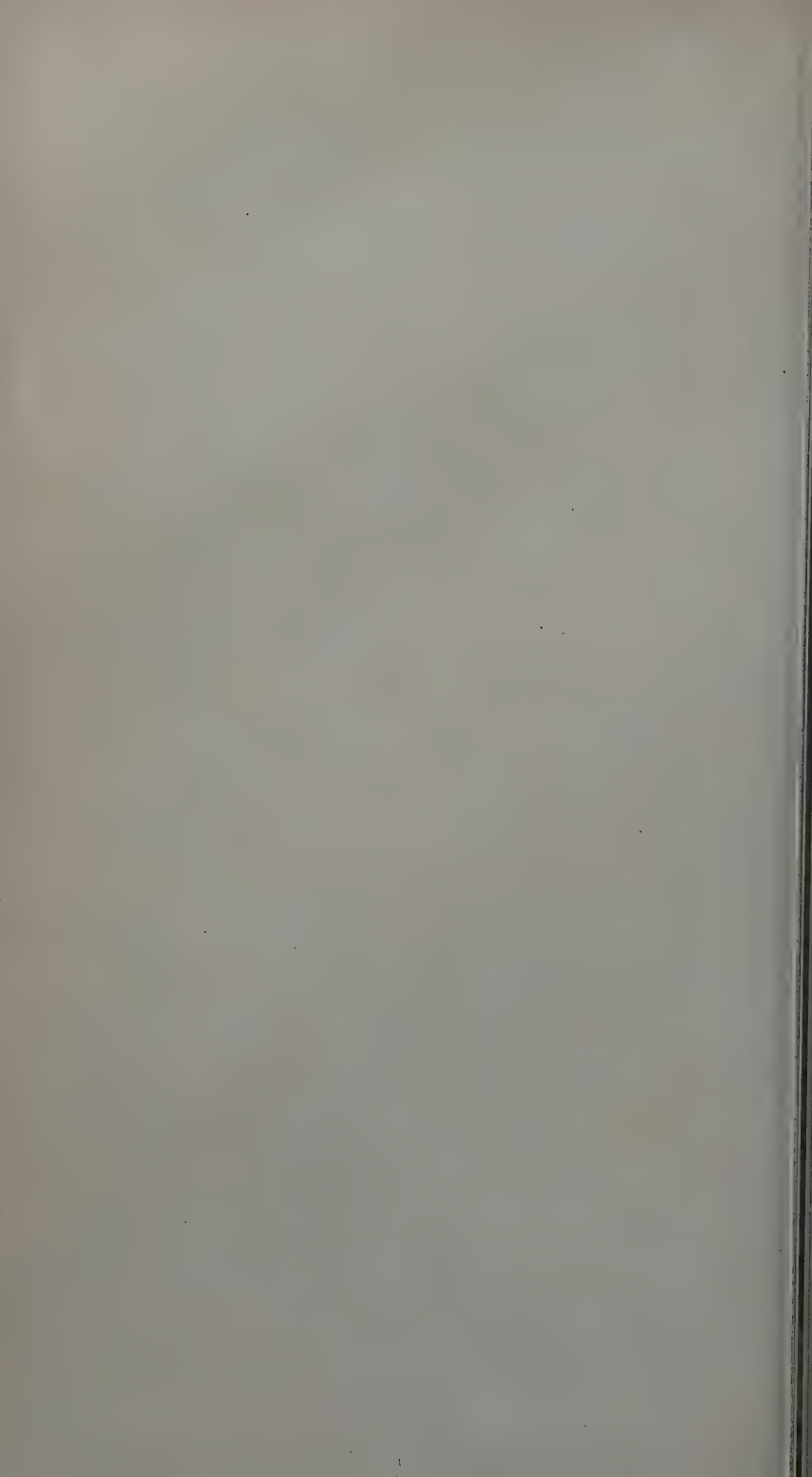
AVIS AUX MEMBRES

Le premier volume des *Tables Internationales de Radio-cristallographie*, publié par les soins de l'UNION INTERNATIONALE DE CRISTALLOGRAPHIE, vient de paraître. Le texte et les tables ont été préparés en vue de leur utilisation pratique dans la détermination des structures cristallines ; l'ensemble présente toutefois les qualités d'un livre d'enseignement. Concrètement aux groupes de symétrie, il sera suivi par deux autres volumes, actuellement en préparation, contenant des tables mathématiques, physiques et chimiques. Il est rédigé en anglais et comprend un lexique anglais, français, allemand, russe et espagnol.

— Prix de l'exemplaire relié toile (558 + X pages, 237 figures), frais d'expédition et d'emballage inclus : £ 5, 5 s.

— Prix spécial pour les membres des sociétés savantes à condition que ce volume ne soit destiné qu'à leur usage personnel : £ 3.

Un formulaire sera fourni, pour cette commande, par M. Th. Petitpas, 12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE
ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1952. — BULLETIN D'OCTOBRE-DÉCEMBRE

Séance du 13 novembre 1952.

PRÉSIDENCE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

M^{lle} ROUGER et M. JAEGER, présentés à la dernière séance, ont proclamés membres de la Société.

Présentations.

M. P. ROMAIN, 116, rue de Pessac, Bordeaux, Gironde, présenté par MM. Gay et Clastre.

M. Y. LE CORRE, préparateur à l'École de Physique et Chimie, Laboratoire de physique théorique, Collège de France, place Marcelin-Berthelot, Paris, 5^e, présenté par MM. Laval et Curien.

M. P. MERIEL, assistant, Laboratoire de physique théorique, Collège de France, place Marcelin-Berthelot, Paris, 5^e, présenté par MM. Laval et Curien.

M. D. CRIBIER, stagiaire de recherches au C. N. R. S., Laboratoire de physique théorique, Collège de France, place Marcelin-Berthelot, Paris, 5^e, présenté par MM. Laval et Curien.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE, 1, place Cockerill, Liège, Belgique, présentée par MM. Brasseur et Melon.

M. J. B. JAGO, 711 Kohl Building, San Francisco, Californie, U. S. A., présenté par MM. Guillemain et Curien.

M. DEWITTE, maître de conférences, Laboratoire de minéralogie, Université de Gand, Belgique, présenté par M. Orcé et M^{lle} Caillère.

M. R. PULOU, chef de travaux, Laboratoire de Minéralogies, Faculté des Sciences, Toulouse, présenté par MM. Capdeville et Rose.

*
* *

En ouvrant la séance, M. LAVAL, Président, souhaite la bienvenue au professeur WATANABÉ, de l'Université d'Osaka, Japon, puis fait part aux membres :

— du décès de M. Adrien DEICHA : M. Laval demande M. Kurylenko de retracer la vie et l'œuvre du professeur A. Deicha et se fait l'interprète de tous les membres, en présentant à M. G. Deicha et sa famille l'expression de ses plus vives condoléances.

Le professeur Adrien Deicha, né le 3 février 1886 à Saint-Petersbourg, commença ses études supérieures à l'École Impériale Technique de Moscou, puis les continua à l'École Polytechnique de Karlsruhe (Allemagne). Vers 1913, il acheva son éducation scientifique à la Sorbonne chez Poincaré (certificats de mécanique et d'hydraulique).

Son orientation scientifique était un apanage de famille, car par son oncle le professeur Pavlov, paléontologiste, il était en contact avec des idées modernes. Avec sa femme, Hélène Deicha, qui étudia les théories de la formation des cristaux liquides au laboratoire de M. Lehmann, ils découvrirent des phénomènes nouveaux dans les fluides en confirmant les suggestions de MM. G. Friedel et F. Grandjean (*Bull. soc. franç. minér. crist.*, 1910, 33, p. 192-228-9).

En 1915, il fut nommé, à 29 ans, professeur titulaire d'hydraulique à l'Institut agronomique et forestier de Nova-Alexandrija. Mais au moment de la bataille des Karpathes, l'institut fut évacué à Kharkov (automne 1915).

Puis vint la première révolution ; on le vit alors vers 1918 avec les professeurs Vernadsky et Agafonov tenir le frêle flambeau de la science à Simphéropol (Crimée). Plus tard, de 1922 à 1924,

enseigne à Moscou à l'École des Mines et à l'Institut des Ponts et Chaussées.

Dès 1924, il se trouva de nouveau en France. Il développa son activité dans le domaine des installations hydrauliques de Grenoble et de Paris. En 1932, il enseigna à l'Institut supérieur russe de Paris et il fut élu membre de la Faculté russe des Sciences.

Comme membre de l'Union des Ingénieurs russes en France, il se dévoua pour la cause des étudiants émigrés russes.

C. KURYLENKO.

— du décès de M. Pierre MUNIER, membre de notre Société depuis 1944; M. Laval, en donnant la parole à M. J. Jourdain, s'associe à tous les membres pour présenter à M^{me} Munier et à toute sa famille l'expression de ses très sincères condoléances.

M. Pierre Munier est décédé le 25 septembre 1952 à l'âge de 77 ans, après une longue et douloureuse maladie.

Ayant débuté dans l'industrie à la sortie de l'École Centrale en 1920, après avoir fait vaillamment son devoir pendant la guerre 1914-1918, ce qui lui valut trois citations et la croix de la Légion d'honneur, il s'occupa d'abord de la fabrication des produits réfractaires à la Compagnie générale de Construction de Fours, dont, très rapidement, il prit la direction d'une des usines.

En 1926, il fut appelé à diriger les Faïenceries du groupe fenal (Badonviller, Lunéville, Saint-Clément).

Mobilisé en 1940, prisonnier, malade, il fut libéré en 1942. A ce moment, il fut appelé à la direction de l'Institut de Céramique français de Sèvres, dont il devint le directeur général en 1947. Il fit de cet organisme un centre de tout premier ordre, concernant la formation professionnelle et les recherches; sa compétence le fit appeler à être chargé de cours technologiques à l'École nationale supérieure de Céramique de Sèvres. Il était également membre du Comité des Argiles.

Ses travaux firent l'objet de nombreuses conférences lors des congrès nationaux et internationaux.

S'il venait rarement aux séances de la Société, c'est que, malgré grande activité, il pouvait difficilement se libérer.

Nous perdons en lui un des grands céramistes de notre époque.

A. JOURDAIN.

— du décès de M. le professeur FRAN RAMOV, à qui L. Kurylenko rend un nouvel hommage.

Le professeur Fran Ramovs, né le 4 septembre 1890, est décédé en automne 1952 à Ljublana. Par sa formation, il était philologue, historien et enseignait la phonétique historique de la langue slovène.

Membre de l'Académie de Slovénie dès le 7 octobre 1938, il devint le Secrétaire Général de cette Académie en 1942 et en fut le Président après 1950.

Il était membre des académies de Prague et de Krakovie ainsi que membre de l'École des études slaves de Cambridge et de l'Association des langues modernes de New-York.

C. KURYLENKO.

Puis, M. le Président adresse de chaleureuses félicitations à M. PORTEVIN, ancien président, qui vient d'être élu membre de la Royal Society de Grande-Bretagne, et décoré, à l'Ambassade des États-Unis, pour ses magnifiques travaux sur la fonderie, de la médaille J. Seeman, décernée par l'American Foundry men's Society.

Ensuite, M. Laval annonce la création de l'« Association des Traducteurs de France »⁽¹⁾ qui projette en particulier, la création d'une bibliothèque comportant des revues techniques, la publication d'un bulletin, l'organisation de travaux de traduction, etc.

Enfin, à la suite des publications parues dans :

- *American mineralogist*, 1952, 37, n° 1-2, p. 135 (G. T. Faust, M. Fleischer, *allevardite* = *caillérite* = *tabulite* = *déribérite*),
- *Mineralogical Magazine*, 1952, 29, n° 218 (L. J. Spencer, p. 975 : *allevardite*; p. 977 : *caillérite*; p. 980 : *déribérite*; p. 993 : *tablite*, *tabulite*),

le Président rappelle que les procès-verbaux des séances de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie reflètent objectivement les discussions libres de ses membres, que les idées, opinions, appréciations et tous propos émis n'engagent que la seule responsabilité de leurs auteurs et no

(1) A. T. F., 44, rue Notre-Dame-des-Victoires, Paris, 2^e.

elle de la Société, et qu'en conséquence, on ne peut considérer comme espèces minérales nouvelles :

- ni la *tablite*, pour laquelle aucune référence précise de publication n'a pu être fournie par M. SANDRÉA ;
- ni la *caillérîte*, la *déribérîte*, la *tabulite*, dont les noms ont été proposés au cours d'une discussion soulevée par la lettre de M. Lemoine, président de la Société d'Histoire naturelle de Savoie, à la séance du 11 mai 1950, mais *non retenus* pour désigner l'espèce décrite et étudiée sous le nom d'*allevardite* par M^{lle} Caillère (*CR. Acad. Sc.*, Paris, 1950, 230, p. 668).

La Société Française de Minéralogie et de Cristallographie n'est pas qualifiée pour donner un nom à une espèce nouvelle. Il est inadmissible, comme l'ont déjà fait remarquer MM. Orcel, Guillemin et Permingeat à la suite de la note de L. Fleischer (*Bull. Soc. franç. minér. crist.*, 75, p. 307), que la nomenclature soit encombrée d'espèces dites nouvelles, et que la prétendue *tablite*, qui n'ont fait l'objet d'aucune étude sérieuse.

A cette occasion, il y a lieu de signaler la création du Comité français de nomenclature des espèces minérales nouvelles (*Bull. Soc. franç. minér. crist.*, 1952, 75, p. XLVIII).

Présentation d'ouvrages.

1. — *Leçons sur la structure atomique des cristaux*, J. GARDO, Sociedade Geologica de Portugal, Porto, 1951, 1 vol., 48 pages, 66 figures, 170 × 245.
2. — *A thousand and one questions on crystallographic problems*, P. TERPSTRA, éditeur : J. B. Wolters, Groningen, 1952, 1 vol., 195 pages, 182 figures, 155 × 230.
3. — *Die mineralien des Eisenbergwerks Herznach im lichte morphogenetischer untersuchungen*, A. FREI, Leemann, Zurich, éditeur, 1922, 1 vol., 162 pages, 42 figures, 9 tableaux, 205 × 285.

4. — *Les gîtes d'étain et de tungstène de la région d'Oumès (Maroc Central). Étude géologique, pétrographique métallogénique*, H. TERMIER, B. OWODENKO et J. AGAR. Notes et mémoires, n° 82, du Service Géologique, Rabat, 1950, 1 vol., 328 pages, 37 figures, 17 tableaux, 27 planches hors texte, une carte en couleurs au 1/40.000^e, une carte au 1/5.000^e, 160 × 250.

I. — *Le cadre du massif granitique* : Schistes X et Ordovicien, Gothlandien, Dévonien, Viséen supérieur, Namurien probable, Quaternaire (dépôts lacustres, volcanisme récent).

II. — *Le massif granitique* : Étude micrographique et chimique. Granites à deux micas (type principal et faciès de variations, type à grains fins, type orienté). Granites à mica blanc : granites à muscovite seule, granites à muscovite et tourmaline, granites filoniens (filons couches, pegmatites et aplites), types particuliers, comparaisons. Mode de gisement. Les contacts : phénomènes de bordure ; le batholite : forme et stade d'érosion, âge, niveau d'intrusion.

III. — *L'auréole métamorphique* : Caractères d'ensemble et division en zones (zone à chlorite, zone à mica vert, zone à biotite, zone à andalousite). Observations sur les principaux minéraux ; les types de roches (descriptions de plaques minces et analyses chimiques). Comparaisons et conclusions.

IV. — *La minéralisation* : Étude géométrique et statistique des filons : dans le granite, dans les schistes. Les minéraux filoniens : modes de présentation et répartitions géographiques. Métasomatose filonienne. Étude détaillée des groupes de filons. Éluvions et alluvions stannifères. Résultats d'ensemble. Interprétation et hypothèse (origine du réseau filonien, paragénèses, classement et comparaisons, genèse de la cassitérite et du wolfram).

V. — Chronologie générale (tableau 17). Résumé général.

Présentations d'échantillons.

1° M. GUILLEMIN présente des échantillons minéralogiques récemment reçus pour la collection du *Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne* :

— un gros fragment de cristal de *brazilianite*, jaune olive, transparent, de Corrego Frias, Minas Geraes, Brésil ; un cristal de *kunzite* de couleur nettement violette provenant d'une nouvelle découverte faite dans le célèbre gîte de pegmatites lithiques de Pala, Californie, U. S. A. ; un échantillon typique d'*inésite* de Langban, Suède, qui se présente en nodules radiés formés d'aiguilles de couleur orangée ;

— toute une série de spécimens du Groenland, en particulier de : *jarlite*, *cryolithionite*, *chiolite*, *weberite* du gîte de cryolithe d'Ivigut ; des échantillons de *neptunite*, *narsarsukite*, *schizolite*, *synchisite* et deux très beaux spécimens de *sapphirine* et de *steenstrupine* cristallisée provenant des syénites de Narsarsuk, envoyés par M^{me} Sole Munk (Universitetets Mineralogisk, Geologiske Institut, Mineralogisk Museum, Copenhague) ;

— des échantillons de *calamine* et de *descloizite*, du gîte de M'Fouati, Congo français, en cristaux atteignant 1 cm., envoyés par M. Chaumet, ingénieur civil des Mines ;

— quelques cristaux de *wulfenite*, dont un fragment de 8 cm. (150 gr.) et des cristaux de *cérusite*, généralement maclés sur (110), de 5 à 8 cm., provenant des mines de M'Fouati et Boko-Songho (Congo français), envoyés par M. Gy, ingénieur chimiste.

2° M. J. GEFFROY présente des échantillons qui lui ont été communiqués par M. C. Herbinger. Ces minéraux ont été rencontrés dans les travaux de recherche effectués sur le gisement de wolfram et d'étain de *Montredon-La Bessonie* (Tarn) :

— Le *wolfram* se présente sous deux aspects :

a) cristaux à faciès normal, formant souvent des masses clivées de plusieurs kilos. Dans certains cas, les cristaux,

terminés par un dôme en I, s'isolent parfaitement de leur gangue quartzeuse;

b) enchevêtrements de petits cristaux aplatis, associés le plus souvent à la scheelite dont ils paraissent dériver. Comme cette dernière, ils remplissent les espaces délimités par les faces des cristaux de quartz gras.

La *cassitérite* en cristaux de plusieurs cm., d'un brun châtaigne, souvent maclés en bec.

— La *scheelite* grise ou rosée, en masses atteignant 10 cm. englobées dans le quartz.

— Le *mispickel* et la *pyrite* en cristaux à faces éclatantes développés métasomatiquement dans les greisens.

Ces minéraux classiques dans les filons stannifères se présentent à Montredon (où les travaux miniers sont encore peu développés) en spécimens remarquables. Ils peuvent soutenir la comparaison avec ceux des meilleurs gisements français du même type.

À la suite de ces présentations, M. J. Orcel demande que la Société étudie un vœu concernant la protection des gisements de minéraux nouveaux ou exceptionnels, vœu qui serait présenté à un prochain Congrès de la Protection de la Nature. Un échange de vues a lieu à ce sujet, auquel prennent part MM. le colonel Vésignié, Watanabé (sur les gisements protégés au Japon), Boubée, Friedel, Guillemin. Certains font remarquer que la protection serait difficile à obtenir dans le cas de minéraux appartenant à des gîtes métallifères exploités. On pourrait seulement demander aux exploitants qu'ils prennent soin de recueillir les échantillons remarquables de ces minéraux découverts au cours des travaux d'extraction des minerais qui les renferment.

Communications.

1^o M. E. RAGCIN : *Avis sur l'existence d'une Commission de Géochimie.*

Une Commission de Géochimie, appelée « Commission d

« Localisation géochimique des Éléments » et appartenant à l'Union Chimique Internationale, a été fondée au XII^e Congrès International de Chimie Pure et Appliquée en septembre 1951 à New-York et Washington.

Son bureau est le suivant :

Président : professeur Dr P. Niggli, Zürich.

Vice-Président : Dr M. Fleischer, U. S. Geol. Survey, Washington.

Secrétaires : professeur T. F. W. Barth, Oslo ; professeur E. Raguin, Paris.

La Commission doit servir de centre de rassemblement et d'information dans toutes les recherches géochimiques. Il est souhaitable que les chercheurs isolés et les instituts de recherches qui effectuent des travaux géochimiques ou font de la bibliographie géochimique, informent la Commission de leurs projets et de leurs objectifs. La Commission peut réciproquement leur fournir des renseignements sur les points où des travaux de même caractère sont en cours. Les communications sont à envoyer au professeur T. F. W. Barth (Geol. Museum, Oslo 45, Norvège).

En 1953, un Congrès est prévu et la Commission se réunira. Elle organisera un Symposium sur des questions géochimiques et un échange de vues sur l'état des recueils d'analyses chimiques régionales de roches et de minéraux.

A la demande de M. Orcel, M. Raguin précise les relations entre cette nouvelle commission et le périodique *Acta Geochimica* ; l'activité de la commission sera reflétée dans ce périodique.

2° M. DUPUIS : *Présentation d'appareil.*

L'auteur présente un dispositif permettant de projeter les observations faites à la loupe polarisante, décrite à la séance du 8 novembre 1951. Il montre sur un écran de 1 m² de nombreuses figures classiques obtenues avec différentes lames cristallines en lumière polarisée parallèle et convergente. Il

projette en outre une série de photographies en couleurs réalisées avec cet appareil.

M. Friedel et M. Wyart soulignent l'intérêt de ce petit appareil qui rendra service non seulement aux laboratoires de recherches, mais aussi à l'enseignement.

3° M. G. SABATIER : *Mesure des quantités de chaleur à l'aide de l'analyse thermique différentielle. Application à la mesure des chaleurs de dissociation de quelques minéraux hydratés.*

L'auteur décrit une méthode calorimétrique fondée sur la mesure de l'aire des crochets des courbes d'analyse thermique différentielle⁽¹⁾. Cette méthode est appliquée à la mesure de la chaleur de dissociation des minéraux suivants : hydrargillite, goethite, diaspoire, kaolinite, serpentine. Il faut, dans tous les cas, environ 1 Kcal. pour libérer 1 gramme d'eau.

Suit une discussion animée par MM. Wyart, Jung et Kurylenko sur la signification de ce résultat. A la demande de M. Lévy, l'auteur indique que l'aire des crochets est déterminée par pesée. L'application de la méthode à l'étude de la cristallisation des minéraux métamictes est discutée par M. Pellas, et M. Goni souligne l'intérêt d'utiliser de faibles vitesses de chauffage.

4° M. P. PELLAS : a) *Sur le mécanisme de diffusion de l'hélium dans les zircons.* b) *Sur une nouvelle méthode approximative de mesures des temps géologiques.*

L'auteur montre que les phénomènes d'ionisation qui caractérisent le passage d'un rayon α dans la matière ne peuvent expliquer, d'une part, la transition ordre-désordre constatée (état métamicté) et, d'autre part, la diffusion de l'hélium dans les zircons contenant dans leur réseau des éléments radioactifs à l'état de dispersion atomique.

Seuls les atomes déplacés à la suite des chocs élastiques

(1) C. R. Acad. Sci., Fr., 235, 574-5, 1952.

nucléaires permettent une explication satisfaisante des deux processus. Dans ce cas, ce sont en particulier les atomes de recul radioactifs qui possèdent la plus grande efficacité de destruction réticulaire.

En conclusion, l'auteur indique une nouvelle méthode de mesure des âges géologiques, par l'étude des structures aux rayons X et par l'emploi du microscope polarisant alliés à la mesure des concentrations en U + Th par autoradiographie des rayons α . Cette méthode peut s'appliquer aux inclusions radioactives des roches granitiques.

M. Laval, Président, remercie tous les auteurs de leurs intéressantes communications.

Séance du 11 décembre 1952.

PRÉSIDENCE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

MM. CRIBIER, DEWITTE, JAGO, LE CORRE, MÉRIEL, PULOE, ROMAIN et la BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la société.

Présentations.

M. AUBERT Guy, minéralogiste au Bureau de recherches minières de l'Algérie, 48, cité Vaudoit, Clermond-Ferrand, présenté par MM. Roques et Lapadu-Hargues.

*
* *

En ouvrant la séance, M. LAVAL, Président, fait part aux membres d'une note concernant le quatrième Congrès International de l'Association Internationale pour l'étude du qua-

ternaire (INQUA), ⁽¹⁾, qui aura lieu en Italie du 30 août au 10 septembre 1953. Les travaux s'encadreront dans les sections suivantes : astronomie, physique du globe, pédologie, climatologie et pétrographie des sédiments, morphologie, glaciologie, hydrologie et limnologie, paléontologie, paléogéographie, anthropologie, palethnologie.

*
* *

Présentation d'échantillons.

M. J. PROUVOST présente des échantillons minéralogiques qu'il a ramenés d'un voyage d'étude dans le Massif Central. Il a recueilli avec M. Kraut, dans une carrière de granite près de Nontron (Dordogne), des spécimens dans lesquels la *galène* et la *cérusite* remarquablement cristallisées sont accompagnées de la *pyromorphite*. Les arêtes des cubes de galène dépassent parfois 3 cm. dimension rare dans les gisements français. Ces minéraux seront décrits en détail au cours d'une prochaine communication consacrée à la métallogénie des environs de Nontron.

Il a trouvé, en outre, à la mine du Soulier, près d'Alès (Gard), de beaux cristaux transparents de *blende* dont il a pu vérifier la pureté par des essais chimiques et minéralogiques. Il s'agit du type tétraédrique, les tétraèdres atteignant 1 cm d'arête.

Communications.

1^o M. P. CHEVENARD : *Analyse dilatométrique et thermogravimétrique des houilles.*

Un dilatomètre à enregistrement graphique, dont le coefficient d'amplification peut être choisi à volonté entre des limites étendues, accroît la précision de l'essai conventionnel. Audibert-Arnu qui sert à caractériser la fusion commençant

(1) Pour tous renseignements s'adresser au Secrétariat général du Congrès Istituto di Geologia, Via S. Maria 31, Pisa, Italia.

les houilles et le seuil de la distillation. L'appareil permet, en outre, d'analyser la contraction déterminée par la cuisson des semi-cokes et de mesurer la variation de leur dilatabilité avec la température de carbonisation.

La pesée continue des houilles exposées à l'air à températures croissantes, caractérise avec sensibilité l'oxydation, la décomposition des produits oxydés et le départ des matières volatiles. Outre le phénomène global qui intéresse tout le volume des grains, la thermobalance accuse un phénomène du même type, mais incomparablement plus rapide, qui se manifeste dès le début de l'oxydation, n'affecte probablement que la surface des grains et paraît jouer un rôle dans l'échauffement spontané des houilles.

Prennent part à la discussion MM. Orcel, Gelfroy, Wyart, M^{lle} Caillère. M. Laval remercie chaleureusement M. Chevenard.

2° MM. S. GOLDSZTAUB et R. KERN : *Étude des gradients de concentration de la solution autour d'un cristal en voie de croissance.*

Une nouvelle méthode interférentielle en lumière blanche polarisée, due à M. Françon, a été appliquée à l'étude de la croissance et de la décroissance des cristaux à partir de solutions. On a trouvé que la concentration de la solution était constante dans les plans parallèles aux faces cristallines. Des résultats différents avaient été obtenus précédemment par quelques auteurs qui utilisaient des méthodes interférentielles moins sensibles.

Prennent part à la discussion MM. Hocart, Wyart, M. le Colonel Vésignié et M. Matschinski.

3° M. G. BRANCHE : *Platine chauffante pour microscope polarisant.*

L'auteur présente une platine à chauffage électrique à laquelle le courant est amené par deux balais, afin de permettre une rotation complète de la platine du microscope. La

mesure de température est faite sur une seconde platine, placée dans la boîte de contrôle, et chauffée par le même courant que la première. La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre à résistance de platine; le montage électrique est un pont de Wheatstone non équilibré.

M. Goni s'intéresse particulièrement à la réalisation de M. Branche et demande, en particulier, des précisions sur la mesure de la température.

4° M. MATSCHINSKI : *Structure des chondres et profondeur de la matière météoritique.*

Il y a deux modèles physiques expliquant les formes dues au phénomène de Popoff (bifeuille, etc...), celui de Popoff Choubnikov et celui proposé par l'auteur. On démontre que l'explication de la formation des chondres peut être facilement ramenée à l'explication du bifeuille. En supposant un rapport déterminé des constantes physiques, on peut même expliquer que les chondres ne présentent pas de formes pointues.

M. Laval, Président, remercie tous les auteurs de leurs intéressantes communications.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

ET DE

CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1953

Membres du Bureau.

- MM. P. CHEVENARD, Président.
R. HOCART
J. GARRIDO } Vice-Présidents.
A. J. ROSE, Secrétaire général.
C. GUILLEMIN, Secrétaire adjoint.
H. CURIEN, Trésorier.
A. RANDOIN, Trésorier honoraire,
C. KURYLENKO, Archiviste.

Membres du Conseil.

- | | |
|---------------|-------------------|
| MM. J. JUNG. | MM. R. FISCHESSE. |
| A. KRAPIVINE. | J. CHERVET. |
| C. GUILLEMIN. | Y. LETORT. |

Membres du Comité de lecture.

- | | |
|-----------------------------|----------------|
| MM. CH. MAUGUIN, Président. | MM. R. HOCART. |
| G. CHAUDRON. | J. ORCEL. |
| E. FRIEDEL. | J. WYART. |

Membres du Comité de nomenclature.

- | | |
|-------------------|----------------|
| Mlle S. CAILLÈRE. | MM. J. ORCEL. |
| MM. C. GUILLEMIN. | F. PERMINGEAT. |
| R. HOCART. | J. WYART. |

ANCIENS PRÉSIDENTS :

1878 DES CLOIXAUX (A.).	1914 BARDET (G.).
1879 MALLARD (E.).	1915 ARSANDAUX (H.).
1880 DAMOUR (A.).	1916 WALLERANT (FRÉD.).
1881 FRIEDEL (CH.).	1917 LACROIX (A.).
1882 DAUBRÉE (A.).	1918 GRAMONT (A. DE.).
1883 FOUQUÉ (F.).	1919 MICHEL (L.).
1884 CORNU (A.).	1920 MOUREU (CH.).
1885 LAPPARENT (A. DE.).	1921 AZÉMA (Colonel).
1886 BERTRAND (EM.).	1922 TERMIER (P.).
1887 JANNETTAZ (E.).	1923 CAYEUX (L.).
1888 DUFET (H.).	1924 MAUGUIN (CH.).
1889 DES CLOIXAUX (A.).	1925 DELÉPINE (M.).
1890 CARNOT (AD.).	1926 GRANDJEAN (F.).
1891 WYROUBOFF (G.).	1927 LACROIX (A.).
1892 MALLARD (E.).	1928 HUBERT (H.).
1893 BOURGEOIS (L.).	1929 ORCEL (J.).
1894 MICHEL-LÉVY (A.).	1930 WALLERANT (F.).
1895 LACROIX (A.).	1931 LACROIX (A.).
1896 HAUTEFEUILLE (P.).	1932 Colonel VÉSIGNIÉ (L.).
1897 TERMIER (P.).	1933 Abbé GAUDEFRY (C.).
1898 LE CHATELIER (H.).	1934 GAUBERT (P.).
1899 WALLERANT (FRÉD.).	1935 MAUGUIN (CH.).
1900 HAUTEFEUILLE (P.).	1936 MICHEL-LÉVY (A.).
1901 BERTRAND (EM.).	1937 URBAIN (G.).
1902 WYROUBOFF (G.).	1938 GLASSER (E.).
1903 MICHEL (L.).	1939 BLONDEL (F.).
1904 DUFET (H.).	1940-43 LACROIX (A.).
1905 WALLERANT (FRÉD.).	1944 FRIEDEL (E.).
1906 LAPPARENT (A. DE.).	1945 WYART (J.).
1907 MOISSAN (H.).	1946 MICHEL-LÉVY (A.).
1908 LACROIX (A.).	1947 PORTEVIN (A.).
1909 GAUBERT (P.).	1948 ORCEL (J.).
1910 LE CHATELIER (H.).	1949 CHAUDRON (G.).
1911 TERMIER (P.).	1950 MAUGUIN (CH.).
1912 GRAMONT (A. DE.).	1951 BOUBÉE (N.).
1913 COPAUX (H.).	1952 LAVAL (J.).

LISTE DES MEMBRES

1953

Membre bienfaiteur.

LACROIX (A.).

Membres donateurs.

- 1952 SERVICE des Recherches et du contrôle techniques,
3, avenue de la République, Issy-les-Moulineaux, Seine.
1953 MANUFACTURES des glaces et produits chimiques de
Saint-Gobain, Chauny et Cirey, 1 bis, place des Saus-
saies, Paris, 8^e.
-

Membres honoraires décédés.

MILLER (W. H.).	MASKELYNE (N.-S.).
ADAM (GILBERT-JOSEPH).	ZIRKEL (Fr.).
KOBELL (FR. von).	WYROUBOFF (Gr.).
SMITH (LAWRENCE).	STRUEVER (G.).
SELLA (L.).	ROSENBUSCH (H.).
RATH (G. von).	FEDOROFF.
DOMEYKO (I.).	IDDINGS (JOSEPH-P.).
LEUCHTENBERG (S. A. I.	PISANI (F.).
le Grand-Duc Nic. DE)	LANG (V. von).
KOKSCHAROW (N. DE).	GONNARD (F.).
SCACCHI (A.).	TSCHERMAK (G.).
SZABO (J.).	GROTH (P.).
MARIGNAC (CH. DE).	BECKE (Dr FR.).
DANA (J.-D.).	WALLERANT (FRÉD.).
DES CLOIXAUX (A.).	TOPSÆ (Dr H.).
SCHRAUF (A.).	CESARO (G.).
FRIEDEL (CH.).	BRÖGGER (W.-C.).
RAMMELSBERG (C.).	LACROIX (A.).
NORDENSKJOELD (A.-E.).	BOLDYREV (A. K.).
DAMOUR (A.).	SMIRNOV (S. S.).
FOUQUÉ (F.).	NIGGLI (P.).

Membres honoraires.

- 1947 CHOUBNIKOV (A. V.), professeur de Minéralogie, membre de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., Moscou.
- 1950 BRAGG (Sir L.) Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Angleterre.
- 1950 SLAVIK (FRANTSÈK), professeur honoraire à la Faculté des Sciences de l'Université Charles, Karlovy-University u Praze, Prague 2, Albertov 6 (Tchécoslovaquie).
- 1950 WESTGREN (ARNE), prof., K. Vetenskapsakademien. Stockholm 50 (Suède).
- 1950 WYCKOFF (R. W. G.), Scientific Director, Laboratory of physical biology, U. S. Public health service, National Inst. of health, Bethesda 14, Maryland (U. S. A.).
- 1953 BUTTGENBACH (H.), professeur émérite de l'Université à Liège, 182, avenue Roosevelt, Bruxelles (Belgique).
-

Membres perpétuels décédés.

BERTRAND (Émile).	PURPER (L.).
MAUROY (Marquis DE).	

Morts pour la France ⁽¹⁾.

BOUSSAC (J.).	TRONQUOY (R.).
ROMEU (A. DE).	

Membres perpétuels.

- 1888 BIBLIOTHÈQUE de l'Université Libre, place du Peuple, Louvain, Belgique.
- 1894 SOCIÉTÉ minéralogique de Léningrad.
- 1894 INSTITUT des Mines de Léningrad.
- 1897 SPECULA VATICANA, Castel Gandolfo, Rome, Italie.
- 1910 SOCIÉTÉ espagnole d'Histoire naturelle, à Madrid.
- 1919 SOCIÉTÉ minière et métallurgique de Penarroya, 12, place Vendôme, Paris, 1^{er}
-

(1) Inscrits sur la liste des membres perpétuels par décision de la Société.

- 1919 BIBLIOTHÈQUE de la Faculté de Pharmacie, 4, avenue de l'Observatoire, Paris, 6^e.
1920 INSTITUT minéralogique de l'Université Charles, Albertov 6, Prague, Tchécoslovaquie.
1921 INSTITUT minéralogique de l'Université Masaryk, Kounicova 63, Brno, Tchécoslovaquie.
1921 BANQUE industrielle de Chine (Services techniques), 74, rue Saint-Lazare, Paris.
1949 MUSÉE DE LA TERRE (Muzeum Ziemi), Al. na Skarpie 8, Warszawa, Varsovie (Pologne).
1950 LABORATOIRE DE GÉOLOGIE, École Nationale d'Agriculture de Montpellier (Hérault).
1951 LABORATOIRE DE GÉOLOGIE du Collège de France, place Marcellin-Berthelot, Paris, 5^e.
-

Membres ordinaires ⁽¹⁾.

- 1945 AGARD (J.), ingénieur civil des Mines, Service Géologique Maroc (Rabat).
1932 ALLAIN (A.), 17, rue Chaptal, Paris, 9^e.
1948 ALPERN (B.), directeur adjoint des cours de prospection du Commissariat à l'Énergie atomique, 4, rue Taffanel, Verneuil (Oise).
1934 *m* ANDREW (G.), maître de Conférences de Pétrographie et de Minéralogie, Box 410, Karthoum, Anglo-Égyptien Sudan.
1938 ARCHAMBAULT (M.), chef de la division de Minéralogie, Service des Mines de Québec (Canada).
1939 ARTIGAS (F.), docteur ès sciences, agrégé de l'Université, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques, Paris, 5^e.
1940 AUBERT (Georges), ingénieur agronome, 71, avenue de Breteuil, Paris, 15^e.
1953 AUBERT (Guy), minéralogiste au Bureau de recherches minières de l'Algérie, 18, cité Vaudoit, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
1948 BAILLY (P.), 32, quai de Béthune, Paris, 4^e.
1946 BAILLY (R.), assistant professor of Mineralogy, Washington University St-Louis, Mo, U. S. A.
1937 BARILLET (F.), ingénieur chimiste, 45, avenue Gambetta, Clichy.

(1) La lettre *m* indique les membres à vie.

- 1938 BARRABÉ (L.), professeur à la Faculté des Sciences
45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.
- 1942 BARRAUD (J.), ingénieur diplômé de l'École Supé-
rieure d'Optique, docteur ès sciences physiques, chargé
de Recherches du C. N. R. S. aux Laboratoires de Bel-
levue et à la Faculté de Médecine, 5, rue Herschel
Paris, 6^e.
- 1947 BASTIEN (P.), professeur à l'École centrale, 85
avenue Bosquet, Paris, 7^e.
- 1949 BELTRAN (M^{lle} E. M.), professeur de Pétrographie
à l'Université de Cordoba, Felix Olmedo 93, Cor-
doba (Argentine).
- 1944 BÉNARD (J.), maître de Conférences à l'E. N. S. C. P.
de Paris, 14, rue Pierre-Curie, Paris, 5^e.
- 1949 BERTAUT (F.), Laboratoire d'Électrostatique et de
physique du métal, Institut Fourier, place du Doyen-
Gosse, Grenoble (Isère).
- 1929 BERTHOIS (L.), maître de Conférences de Géologie-
Pédologie à l'École Nationale d'Agriculture, 30,
quai Saint-Cast, Rennes (I-et-V.).
- 1928 BESAIRIE, Service des Mines, Tananarive, Madagascar.
- 1911 BETIM (Alberto Paes Leme), professeur de Minéra-
logie et de Géologie au Muséum national d'Histoire
naturelle de Rio-de-Janeiro (Brésil).
- 1952 BHATTACHARYYA (T.), Laboratoire de minéralogie
du C. E. A., Fort de Chatillon, Fontenay-aux-Roses
(Seine).
- 1915 BIBLIOTHÈQUE de l'Institut minéralogique et pétro-
graphique de l'École polytechnique fédérale de
Zurich (Suisse).
- 1918 BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Caen.
- 1920 BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Toronto (Canada).
- 1933 BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Lund (Suède).
- 1953 BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Liège, 1, place
Cockerill, Liège (Belgique).
- 1926 BLANQUET (E.), licencié ès sciences, directeur hono-
raire de Cours complémentaire, 112 ter, rue Mar-
cadet, Paris, 18^e.
- 1951 BLARINGHEM (L.), membre de l'Institut, professeur
honoraire à la Faculté des Sciences de Paris, 77, rue
des Saints-Pères, Paris, 7^e.
- 1925 *m* BLONDEL (F.), ingénieur en chef des Mines, 35,
rue Saint-Dominique, Paris, 7^e.

- 952 BLOT (P.), ingénieur chimiste, Laboratoire de pétrographie, 1, rue-Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 948 *m* BODU (R.), 12, rue Victor-Hugo, Poitiers (Vienne).
- 942 *m* BOLFA (J.), assistant à l'Institut de Géologie Appliquée, 4, avenue Heydonreich, Nancy
- 951 BOLZE (J.), licencié ès sciences, Mine de Fedj el Adoum par le Krib (Tunisie).
- 944 BORDET (Abbé P.), ingénieur géologue I. G. N., 7, avenue de Ségur, Paris, 7^e.
- 945 BOTTIER (R.), 13, square Montsouris, Paris, 14^e.
- 921 BOUBÉE (N.), licencié ès sciences, 3, place Saint-André-des-Arts, Paris, 6^e.
- 928 *m* BOUHET (Ch.), professeur de Physique à l'Université de Montpellier (Hérault).
- 953 BOULADON (J.), ingénieur civil des mines, Service géologique du Maroc, Rabat (Maroc).
- 952 BOULANGER (J.), ingénieur géologue E. N. S. G., Service des mines de Madagascar, Tananarive (Madagascar).
- 951 BOURNAZEL (M^{lle} M.), licenciée ès sciences, ingénieur au S.R.C.T., 111, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.
- 953 BOURRIEAU (P.), Service géologique du Maroc, Rabat (Maroc).
- 923 *m* BOURRET (R.), docteur ès sciences, 4, rue Hélot, Toulouse (Haute-Garonne).
- 948 BOYER (A.), 37, avenue de l'Arc, Orange (Vaucluse).
- 950 BRANCHE (G.), ingénieur minéralogiste au C. E. A., 13, rue du Panorama, Fontenay-aux-Roses.
- 938 BRASSEUR (H.), chargé de Cours à l'Université de Liège, 1 A, quai des États-Unis, Liège (Belgique).
- 950 BRENET (J.), Laboratoires des Piles Wonder, 77, rue des Rosiers, Saint-Ouen (Seine).
- 917 BRIÈRE (M^{lle} Y.), docteur ès sciences 2^{ter}, boulevard de l'Ouest, Le Raincy (Seine-et-Oise).
- 950 *m* BRINDLEY, Docteur, Department of physics, Université de Leeds, Angleterre.
- 947 BRITISH MUSEUM (Natural History), Cromwell Road London S. W. 7, Angleterre.
- 952 BROCH (O. A.), professeur, Department of mineralogy, University of Punjab, Lahore (Pakistan).
- 919 BROGLIE (M., Duc de), membre de l'Institut, 29, rue de Chateaubriand, Paris, 8^e.

- 1903 BRONGNIART (Abbé M.), 2, rue Saint-Ambroise, Paris, 11^e.
- 1932 BUREAU d'Études Géologiques et Minières Coloniales, 12, rue de Bourgogne, Paris, 7^e.
- 1951 BUREAU MINIER de la France d'Outre-Mer, Yaoundé (Cameroun).
- 1927 *m* BURRI (Dr C. R.), professeur extraordinaire de Minéralogie à l'École polytechnique fédérale, 5, rue Sonneggstrasse, Zurich (Suisse).
- 1930 *m* CAILLÈRE (M^{lle} S.), docteur ès sciences, sous-directeur du laboratoire de Minéralogie au Muséum national d'Histoire naturelle, 61, rue de Buffon, Paris, 5^e.
- 1920 *m* CANAC (Fr.), directeur du Centre de Recherches Scientifiques, Industrielles et Maritimes, 307, rue de Paradis, Marseille.
- 1941 *m* CANAL (P.), ingénieur géologue, Centre de Recherches de l'Institut du Pétrole, 4, place Bir-Hackem, Rueil (S.-et-O.).
- 1941 *m* CANDEL-VILLA (R.), docteur ès sciences, Calle del Milanésado 29-1, Barcelone (Espagne).
- 1937 *m* CAPDECOMME (L.), professeur de Minéralogie, Laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).
- 1949 *m* CARDOSO (G. M.), professeur de Minéralogie, Université de Madrid, Museo nacional de ciencias naturales, Paseo de la Castellana, Madrid (Espagne).
- 1945 CARRETTE (G.), ingénieur civil des Mines, 20, rue de l'Arcade, Paris, 8^e.
- 1948 *m* CASTERAN (J.), ingénieur S.A.R.E.M.C.I., 1, rue Cât, Nîmes (Gard).
- 1928 CASTRO BAREA (P. DE), professeur de Géologie à l'Université de Séville (Espagne).
- 1950 CAUCHOIS (M^{lle}), professeur à la Faculté des Sciences, 11, rue Pierre-Curie, Paris, 5^e.
- 1949 CHAPELLE (J.), maître de Conférences, Faculté des Sciences de Nancy, 2, rue de la Graffe, Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- 1948 CHAPUT (M.), 11, rue de Tournefeuille, Toulouse (Haute-Garonne).
- 1935 *m* CHATELAIN (P.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Montpellier.
- 1925 CHAUDRON (G.), professeur à la Faculté des Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris 5^e.

- 909 *m* CHAUTARD (J.), 1, rue Savoignan-de-Brazza, Paris, 7^e.
949 CHENEVOY (M.), École Nationale Supérieure des
Mines, 158 *bis*, cours Fauriel, Saint-Étienne (Loire).
923 *m* CHERMETTE (A.), géologue en chef des colonies,
Bureau minier de la France d'Outre-Mer, 125, rue
Garibaldi, Lyon (Rhône).
946 *m* CHERVET (J.), ingénieur chimiste, 24, rue Auguste-
Bailly, Asnières.
929 CHÉTELAT (DE), Oratum Lake Road, Monsey,
N. Y. (U.S.A.).
933 *m* CHEVALIER (R.), professeur à la Faculté des Sciences
de Nancy, Institut de Physique, Nancy.
944 *m* CHEVENARD (P.), directeur scientifique de la
Société de Commentry, Fourchambault et Deca-
zeville, 39, boulevard Raspail, Paris, 7^e.
949 CHRIST (C. L.), U. S. Geological Survey, Washington
25 D. C. (U.S.A.).
947 CHRISTOPHE (M^{me} M.), 26, rue Spontini, Paris, 16^e.
952 CLASTRE (J.), assistant à la Faculté des Sciences, 20,
cours Pasteur, Bordeaux.
951 CLAUDEL (J.-R.), 67, rue Abel-Ferry, Épinal (Vosges).
950 COGNÉ (J.), stagiaire de recherches au C.N.R.S.,
section Géologie, Institut de Géologie, rue du Thabor,
Rennes (I.-et-V.).
948 COLSON (C.), 33, rue de la Côte, Nancy (Meurthe-
et-Moselle).
948 *m* COMTE (P.), Commissariat à l'Énergie atomique, 69,
rue de Varenne, Paris, 7^e.
949 Mac CONNELL (Duncan), Lord Hall, Ohio State
University, Colombus 10, Ohio (U.S.A.).
950 COPPENS (R.), professeur de Physique au Lycée de
Garçons, Vannes (Morbihan).
948 COSSON (J.), 40, rue d'Avesnières, Laval (Mayenne).
951 COTELO NEIVA (J. M.), professeur, Laboratoire de
géologie-minéralogie, Université de Coïmbra (Por-
tugal).
952 COULOMB (R.), ingénieur au C.E.A., 13, rue du Doc-
teur-Déjerine, Paris, 20^e.
945 COUTURE-MATHIEU (M^{me} L.), 68, rue d'Alésia,
Paris, 14^e.
952 CRIBIER (D.), stagiaire de recherches au C. N. R. S.,
Laboratoire de physique théorique, Collège de
France, place Marcelin-Berthelot, Paris, 5^e.

- 1944 *m* CRUSSARD (C.), ingénieur au Corps des Mines, 6, place du Panthéon, Paris, 5^e.
- 1944 CRUSSARD (P.), directeur général de la Société d'aménagement urbain et rural, 58, avenue Théophile-Gautier, Paris, 16^e.
- 1949 *m* CURIEN (H.), Agrégé des Sciences Physiques, docteur ès sciences, 82, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.
- 1943 DEICHA (G.), docteur de l'Université de Paris, 50, rue Mariel, Saint-Germain-en-Laye, Seine-et-Oise.
- 1947 DEKEYSER (W.), professeur à l'Université, Geologisch Instituut, Kristallkunde en mineralogie, Rozier 6, Gand (Belgique).
- 1913 DÉLÉPINE (G.), professeur à la Faculté libre des Sciences, 13, rue de Toul, Lille (Nord).
- 1918 *m* DÉLÉPINE (M.), membre de l'Institut, professeur de Chimie organique au Collège de France, 10 *bis*, boulevard de Port-Royal, Paris, 5^e.
- 1949 *m* DEMAISON (G.), ingénieur géologue, Société Nord-Africaine des pétroles, boîte postale B, Sfax (Tunisie).
- 1953 DEMANDER (M.), directeur de l'exploitation de la Mine de Montebbras en Soumans, Creuse.
- 1944 DEMANGEON (P.), professeur au Lycée de Montpellier, villa Cantegril, chemin vicinal n° 140, Montpellier (Hérault).
- 1943 *m* DÉMAY (A.), professeur à l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, ingénieur général des Mines, 15, avenue Élisée-Reclus, Paris, 7^e.
- 1922 DENAEYER (M.-E.), directeur du Laboratoire de minéralogie de l'Université de Bruxelles. 50, avenue F.-D. Roosevelt, Bruxelles (Belgique).
- 1937 *m* DÉRIBÉRE, ingénieur conseil, 1 *bis*, avenue Séverine, Courbevoie (Seine).
- 1953 DEUDON (M^{lle} M.), ingénieur à l'I. R. S. I. D., 6, rue de Lota, Paris, 16^e.
- 1922 *m* DÉVERIN (L.), professeur de Minéralogie à l'Université de Lausanne (Suisse).
- 1942 DOLLFUS (R.-Ph.), directeur de Laboratoire à l'École pratique des Hautes Études, 57, rue Geofroy-Saint-Hilaire, Paris, 5^e.
- 1949 *m* DONNAY-HAMBURGER (M^{me} G.), The Johns Hopkins University, Department of geology, Baltimore, 18, Maryland (U. S. A.).
- 1930 *m* DONNAY (J.-D.-H.), professor of Crystallography

- and Mineralogy, The Johns Hopkins University, Baltimore, Md. (U.S.A.).
- 1939 *m* DOUCET (M.), ingénieur civil des Mines, assistant au Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon, Paris, 5^e.
- 1951 DOYON (G.), S.R.C.T., 10 *bis*, rue Clemenceau, Gagny (S.-et-O.).
- 1935 DREYFUS, maître de Conférences de géologie, Faculté des Sciences, 23, rue Gosselet, Lille (Nord).
- 1953 DREZET (H.), ingénieur géologue, Service géologique du Maroc, Rabat, Maroc.
- 1919 DUBAR (Abbé G.), professeur à l'Université libre de Lille, 129, rue de Londres, Mouvaux, (Nord).
- 1920 *m* DUFRAISSE (Ch.), membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 50, boulevard de l'Hôpital, Paris. 13^e.
- 1932 DUPARQUE (A.), professeur de Géologie et de Minéralogie, Faculté des Sciences de Lille, 31, rue des Pyramides, Lille (Nord).
- 1944 *m* DUPUIS (Roger), Civry-la-Forêt, par Orvilliers (Seine-et-Oise).
- 1938 DURAND (Jean), inspecteur général des Mines, 34, rue de Metz, Toulouse (Haute-Garonne).
- 1948 DURAND (M.), ingénieur, Boubker par Oudja (Maroc).
- 1935 DUVAL (C.), maître de Recherches, 73, rue du Cardinal-Lemoine, Paris, 5^e.
- 1943 ÉCOLE Nationale Supérieure de géologie appliquée et de prospection minière, 94, rue de Strasbourg, Nancy (M.-et-M.).
- 1949 ELLER (C. Von), Laboratoire de Chimie C, Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1950 ESCARD (M^{me} J.), 12, quai Henri IV, Paris, 4^e.
- 1938 ESTIVAL (J.), ingénieur en chef des Mines, 1, rue Traireux, Lyon (Rhône).
- 1951 EVRAT (P.), président de la Société Philomatique Vosgienne, 32, rue Haute, Saint-Dié (Vosges).
- 1931 *m* FABRE (R.), doyen de la Faculté de Pharmacie, 151, rue de Sèvres, Paris, 6^e.
- 1952 FABREGAT-GUINCHARD (F.), docteur ès sciences, Sadi-Carnot 34, Mexico D. F. (Mexique).
- 1950 *m* FAHEY (J.-J.), U. S. Geological survey, Washington 25 D. C. (U. S. A.).
- 1945 FAIVRE (R.), maître de Conférences, 14, rue de Malzéville, Nancy.

- 1949 *m* FANKUCHEN (I.), professor of Applied physics, Brooklyn Polytechnic Institute, 99, Livingston Street, Brooklyn, N. Y. (U.S.A.).
- 1948 FARRAN (J.), docteur ès sciences, Laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse, Toulouse.
- 1948 *m* FAUST (G.-T.), U.S. Geological Survey, Washington 25 D. C. (U.S.A.).
- 1952 FERREIRA (M^{me} L.), ingénieur au S.R.C.T., 161, rue des Blains, Bagneux (Seine).
- 1953 FINKELSTEIN (P.), ingénieur géologue E. N. S. G. N., 96, boulevard Magenta, Paris, 10^e.
- 1945 FISCHESSE, sous-directeur, École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel, Paris, 6^e.
- 1948 *m* FLEISCHER (M.), U. S. Geological Survey, Washington 25 D. C. (U. S. A.).
- 1944 FOEX (M.), chargé de Recherches, 35, rue Gay-Lussac, Paris, 5^e.
- 1949 *m* FONT ALTABA (M.), professeur à la Faculté de Pharmacie, Salou, 2, 2^e, Barcelone, (Espagne).
- 1951 FONTBOTÉ (M. J.), professeur adjoint, Laboratoire de géologie, Université de Barcelone (Espagne).
- 1928 *m* FORD (H. A.), British Consulate General, 10, Post-office Square, Boston, Mass. (U. S. A.).
- 1941 *m* FOUQUET (R.), ingénieur civil des mines, docteur ès sciences, 2, rue Mabillon, Paris, 6^e.
- 1950 FOURNET (G.), 5, place de la République, Arnouville-lès-Gonesse (S.-et-O.).
- 1950 FRANKE (I.), chargé de recherches, Laboratoire de Cristallographie du S. R. C. T., 37, rue Dussoubs, Paris, 2^e (5^e étage).
- 1950 FRANKLIN (M^{lle} R. E.), University of London, King's College, Strand W. C. 2., London, Angleterre.
- 1953 FREHRING (P.), Service géologique du Maroc, Rabat (Maroc).
- 1934 *m* FRIEDEL (E.), directeur de l'École Nationale Supérieure des Mines, 60, boulevard Saint-Michel, Paris, 6^e.
- 1952 FRIEDMAN (G. M.), Department of geology and geography, Old Tech. Building, University of Cincinnati, Cincinnati 21, Ohio (U.S.A.).
- 1949 FRONDEL (C.), mineralogical Laboratory, Harvard University, Cambridge, Mass. (U. S. A.).

- 1951 *m* FRUEH (A. J. jr.), department of geology, University of Chicago, Illinois (U.S.A.).
- 1950 GALMES (R.), T. P. C. à Kolokani, Soudan (A. O. F.).
- 1949 GALMIER (D.), ingénieur E. F. G. N., 8, allée Robert-Estienne, Livry-Gargan (S.-et-O.).
- 1950 *m* GALOPIN (R.), président de la Société Suisse de Minéralogie et de Pétrographie, conservateur de Minéralogie, Musée d'Histoire Naturelle, Genève (Suisse).
- 1933 *m* GARRIDO (J.), Lagasca, 123, Madrid, 6.
- 1914 GAUDEFROY (Abbé C.), docteur ès sciences, 1, rue Delpit, Rabat (Maroc).
- 1943 GAY (R.), professeur de minéralogie, Faculté des Sciences, 20, cours Pasteur, Bordeaux.
- 1946 GEFFROY (J.), Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon, Paris.
- 1945 *m* GENET (Albert), 44, rue de Tocqueville, Paris, 17^e.
- 1944 *m* GÈZE (B.), professeur de Géologie à l'Institut National Agronomique, 16, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.
- 1949 GLACON (J.), Service de la carte géologique, 14, boulevard Baudin, Alger.
- 1925 *m* GLANGEAUD (L.), doyen de la Faculté des Sciences de Besançon, Besançon.
- 1952 GLASER (L.), docteur ingénieur, Mine Valcros, La Loude Les Maures (Var).
- 1929 GOLDSZTAUB (S.), professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1952 GOÑI (J.), assistant, laboratoire de minéralogie, faculté de chimie et pharmacie de Montevideo, Uruguay.
- 1909 *m* GRANDJEAN (F.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, Laboratoire de Minéralogie de l'École des Mines, 60, bd Saint-Michel, Paris.
- 1930 GRILL (E.), professeur de minéralogie, Istituto de mineralogia, Citta Studi, via Botticelli, 23, Milan (Italie).
- 1945 GRISON (E.), 12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.
- 1950 GRUND (A.), Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 GUIGUES (J.), ingénieur géologue au Service des Mines de Tananarive (Madagascar).
- 1951 *m* GUILLAUME (J.), Laboratoire de Minéralogie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1947 GUILLEMIN (C.), docteur en pharmacie, assistant à la Faculté des Sciences, 6, rue Pierre-Bourdan, Paris, 12^e.

- 1947 GUINIER (A.), Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, Paris.
- 1951 GUITARD, chez M. Bastien, 68, rue de Malabry, le Plessis-Robinson (S.-et-O.).
- 1952 GUITARD (F.), 27, rue de la Cloche d'Or, Perpignan (Pyrénées-Orientales).
- 1927 *m* GYSIN (M.), professeur de Minéralogie à l'Université de Genève, quai de l'École-de-Médecine, Genève (Suisse).
- 1953 HALM (M^{lle} L.), directeur technique, Union française des produits réfractaires, 15, rue de Milan, Paris, 9^e.
- 1939 HAMBURGER (R.), 720 South street, Globe, Arizona (U. S. A.).
- 1949 *m* HARKER (D.), Polytechnic Institute of Brooklyn, 55, Johnson Street, Brooklyn 1, N. Y. (U.S.A.).
- 1948 HAUSKNECHT (J. J.), Service des Mines, Brazzaville (A.E.F.).
- 1946 *m* HENIN (S.), directeur du Laboratoire des Sols au Centre Agronomique de Versailles, route de Saint-Cyr, Versailles.
- 1950 HERPIN (M^{me} P.), assistante à la Faculté des Sciences, Laboratoire de Minéralogie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 *m* HILLY (M.), ingénieur géologue au Service de la Carte géologique d'Algérie, 14, bd Baudin, Alger.
- 1929 HOCART (R.), professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue V.-Cousin, Paris 5^e.
- 1948 *m* HOOKER (Miss M.), U. S. Geological Survey, Washington 25, D. C. (U. S. A.).
- 1938 HUPÉ (P.), professeur agrégé au Lycée Buffon, 9, square Charles-Laurent, Paris, 15^e.
- 1948 *m* INGERSON (E.), U. S. Geological Survey, Washington 25, D. C. (U. S. A.).
- 1937 INSTITUT de minéralogie et de pétrographie de l'Université de Berne, Muldenstrasse 6, Berne (Suisse).
- 1929 INSTITUT de Minéralogie et Pétrographie de la Technische Hochschule, Charlottenburg (Allemagne).
- 1950 INSTITUT de Minéralogie de l'Université de Göttingen, Lotzestrasse, Göttingen (Allemagne).
- 1924 INSTITUT minéralogique et géologique de l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).
- 1937 INSTITUT de minéralogie et de pétrographie de l'Université de Turin, Via San Massimo 24, Turin (Italie).
- 1910 JACOB (Ch.), membre de l'Institut, professeur de

- Géologie à la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1952 JAEGER (J.-L.), ingénieur géologue, 38, quai d'Orléans, Paris, 4^e.
- 1952 JAGO (J.-B.), 711, Kohb Building, San Francisco, Californie (U. S. A.).
- 1948 JANIAK (S.), Lieusaint (Seine-et-Marne).
- 1951 *m* JARY (R.), ingénieur civil des Mines, chef de travaux de physique à l'E. N. S. des Mines, 11, rue Jules-Lemaître, Paris, 12^e.
- 1928 *m* JÉRÉMINÉ (M^{me} E.), docteur ès sciences, chargée de recherches du C. N. R. S., Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon, Paris, 5^e.
- 1938 JOURAVSKY (G.), ingénieur géologue, Service Géologique, Rabat (Maroc).
- 1920 JOURDAIN (A.), ingénieur chimiste I. C. P., 95, boulevard Montmorency, Paris, 16^e.
- 1945 JUNG (J.), professeur à la Faculté des Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1943 KASTLER (A.), professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue du Val-de-Grâce, Paris, 5^e.
- 1951 KERN (R.), Laboratoire de Minéralogie, Faculté des Sciences, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1950 *m* KIEFER (Ч.), ingénieur docteur, 112, avenue Victor-Hugo, Boulogne-sur-Seine (Seine).
- 1916 *m* KOZU (S.), professeur à l'Institut géologique de l'Université impériale, Sendai (Japon).
- 1947 KRAPIVINE (A.), ingénieur chimiste, 3, rue Pierre-Mille, Paris, 15^e.
- 1946 KRAUT (F.), Laboratoire de Minéralogie du Muséum d'Histoire naturelle, 61, rue de Buffon, Paris.
- 1934 *m* KRISHNAN (Dr M. S.), assistant superintendant Geological Survey of India, 27, Chowringhee, Calcutta (India).
- 1934 *m* KURYLENKO (C.), docteur ès sciences, chargé de recherches au Centre National de la Recherche Scientifique, 1, rue Descartes, Ivry-sur-Seine.
- 1953 LABORATOIRE de géologie appliquée, 191, rue Saint-Jacques, Paris, 5^e.
- 1937 LABORATOIRE d'hydrologie générale de l'Institut d'hydrologie et de climatologie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1908 LABORATOIRE de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

- 1932 LABORATOIRE de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Montpellier.
- 1919 LABORATOIRE de Minéralogie de l'Université de Strasbourg, 1, rue Blessig.
- 1929 LABORATOIRE de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse.
- 1892 LABORATOIRE de Minéralogie et Pétrographie de l'Université de Belgrade (Yougoslavie).
- 1922 LABORATOIRE de Minéralogie de l'Université de Bruxelles, 50, avenue des Nations, Bruxelles.
- 1929 LABORATOIRE ET MUSÉE de Minéralogie et de Géologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Lisbonne.
- 1950 LABORATOIRE des traitements chimiques de Vitry, 15, rue Georges-Urbain, Vitry-sur-Seine (Seine).
- 1947 LACOMBE P., maître de recherches à l'E.N.S.C.P., 11, rue Pierre-Curie, Paris, 5^e.
- 1950 LAFFITTE (P.), ingénieur du Corps des Mines, 14, rue de l'Abbé-de-l'Épée, Paris, 5^e.
- 1950 *m* LAMBOT, chef de Travaux à l'Université de Liège, Institut de Minéralogie et de Cristallographie, place du XX-Août, Liège (Belgique).
- 1943 LAPADU-HARGUES (P.), maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 3, avenue Vercingétorix, Clermont-Ferrand (P.-de-D.).
- 1948 LAPLAINE (L.-J.), 11, rue Ambroise-Paré, Paris, 10^e.
- 1948 *m* LARSEN (E. S. III), Geological Survey, Washington 25, D. C. (U. S. A.).
- 1952 LAUCAGNE (P.), 54, rue de la Convention, Paris, 15^e.
- 1933 *m* LAVAL (J.), professeur de Physique théorique, Collège de France, place Marcellin-Berthelot, Paris, 5^e.
- 1953 LE BAIL (F.), professeur de sciences naturelles au Likès de Quimper, 2 *bis*, rue de Kerfeunteun, Quimper (Finistère).
- 1953 LEBLANC (P.), Service géologique du Maroc, Rabat (Maroc).
- 1952 LE CORRE (Y.), préparateur à l'École de Physique et Chimie, Laboratoire de physique théorique, Collège de France, place Marcellin-Berthelot, Paris, 5^e.
- 1951 LEFEBVRE (M^{me} E.), 386, rue Saint-Honoré, Amiens (Somme).
- 1945 LEGOUX, 72, route de Versailles, Petit-Clamart (Seine).

- 1950 LEGRAND (Ch.), sous-directeur du Laboratoire de rayons X au C.N.R.S. à Bellevue, 11, rue Lagarde, Paris, 5^e.
- 1950 LE MERCIER (M^{lle} M.), ingénieur-pétrographe du C.E.A., Pavillon Néerlandais, Cité Universitaire, 19, boulevard Jourdan, Paris, 14^e.
- 1930 *m* LEPAPE (A.), sous-directeur du laboratoire de Chimie-Physique à l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie (Collège de France), 52, rue de Bourgogne, Paris, 7^e.
- 1941 *m* LETORT (Y.), professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 3, avenue Paul-Doumer, Paris, 16^e.
- 1948 LÉVY (C.), Laboratoire de Minéralogie du Muséum d'Histoire Naturelle, 61, rue Buffon, Paris, 5^e.
- 1923 *m* LONGCHAMBON (H.), professeur de minéralogie à la Faculté des Sciences, 16, quai Claude-Bernard, Lyon (Rhône).
- 1920 *m* LONGCHAMBON (L.), professeur de minéralogie, 22, avenue Foch, Paris, 16^e.
- 1950 LOUDE (R.), licencié ès sciences, Laboratoires des Aciéries électriques à Ugine (Savoie).
- 1942 LUCAS (G.), assistant au Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1948 LUZZATI (V.), attaché de Recherches du C. N. R. S., 12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.
- 1939 MAGYAR NEMZETI MUZEUM, Section Minéralogique et Pétrographique, Budapest (Hongrie).
- 1931 MARIO DE JESUS (A.), professeur à l'Institut supérieur technique, Lisbonne (Portugal).
- 1947 *m* MARTIN (H.), Laboratoire de Chimie C, Faculté des Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris.
- 1932 *m* MARTIN DE THEZILLAT (Ch.-E.), Anguignier, par Saint-Sébastien (Creuse).
- 1935 *m* MATHIEU (J.-P.), docteur ès sciences, 68, rue d'Alésia, Paris, 14^e.
- 1951 MATSCHINSKI (M.), 11, rue de la Fontaine-Grelot, Bourg-la-Reine.
- 1910 *m* MAUGUIN (Ch.), membre de l'Institut, professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1922 MELON (J.), chargé de cours à l'Université de Liège, 18, rue Armand-Stouls, Liège (Belgique).
- 1951 MENET (M.), licencié ès sciences, ingénieur au S.R.C.T., 4, rue Ortolan, Paris, 6^e.

- 1948 MENNESSIER (A.), ingénieur, 79, bd Victor-Hugo
Béthune (Pas-de-Calais).
- 1952 MERIEL (P.), assistant, Laboratoire de physique thé-
rique, Collège de France, place Marcelin-Berthelo
Paris, 5^e.
- 1950 MERING (J.), 12, quai Henri IV, Paris, 4^e.
- 1948 MESTRAUD (J.), La Prugne (Allier).
- 1912 *m* MICHALON, ingénieur civil des Mines, 96, rue d
l'Université, Paris, 7^e.
- 1925 MICHAUD (R.), directeur général de la Société ma-
seillaise de Crédit, 75, rue Paradis, Marseille.
- 1949 *m* MICHEL (R.), chef de Travaux à la Faculté de
Sciences de Clermont-Ferrand, 3, avenue Vercinge-
torix, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- 1914 MICHEL-LÉVY (A.), professeur à la Faculté de
Sciences, membre de l'Institut, 26, rue Spontini
Paris, 16^e.
- 1948 MILLOT (G.), chef de Travaux à la Faculté des Science
de Nancy, 94, avenue de Strasbourg, Nancy (M.et-M.).
- 1951 MOLÉ (R.), ingénieur chimiste, Laboratoire de Mine-
ralogie, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1951 MONIER (J.-C.), ingénieur chimiste, Laboratoire d
Minéralogie, 1, rue Blessig, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1951 MONTENEGRO DE ANDRADE (M.), assistant, Labo-
ratoire de Géologie-Minéralogie, Université de Coïm-
bra (Portugal).
- 1953 MORISOT (J.), Mine d'Aouli-Mibladen, Midelt (Maroc)
- 1946 MOUTERDE (Abbé), professeur à la Faculté catho-
lique, 25, rue du Plat, Lyon, 2^e (Rhône).
- 1948 MOUTON (J.), ingénieur géologue, Compagnie géné-
rale de Géophysique, 50, rue Fabert, Paris, 7^e.
- 1947 NAGELSCHMIDT, Research and testing branch
Research laboratories, Portobello street, Sheffield
(Angleterre).
- 1909 *m* NICOLARDOT, commandant, répétiteur à l'École
Polytechnique, membre de la commission des poudres
de guerre, 5, rue Jean-Bart, Paris, 6^e.
- 1951 NITHOLLON (P.), 8 rue Docteur-Pingat, Dijon (Côte
d'Or).
- 1942 NOETZLIN (J.), 43, avenue d'Iéna, Paris, 16^e.
- 1950 OBERLIN (M^{me} A.), assistante à la Faculté de
Sciences, Laboratoire de Minéralogie, 1, rue Victor
Cousin, Paris, 5^e.

- 942 OLMER (Ph.), professeur à la Faculté des Sciences, directeur de l'E.N.S. de la métallurgie et de l'industrie des mines, 41, bd Albert I^{er}, Nancy (M.-et-M.).
- 916 m ORCEL (J.), professeur de Minéralogie au Muséum national d'Histoire naturelle, 2, rue du Charolais, Paris, 12^e.
- 948 ORLIAC (M.), chef de Travaux au Laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse, Toulouse.
- 923 m OULIANOFF (N.), professeur de Minéralogie, Université de Lausanne (Suisse).
- 948 m PAÏDASSI (J.), professeur de métallurgie, Université de Concepcion, Casilla 783, Concepcion (Chili).
- 952 PALM (U.-A.), assistant à l'Institut minéralogique et géologique de l'Université d'Utrecht, Oude Gracht 320, Utrecht (Hollande).
- 939 PAPASTAMATIOU (J.), chef de Travaux de Minéralogie et de Pétrographie à la Faculté des Sciences d'Athènes, 99 B, rue Mavromichali, Athènes (Grèce).
- 941 m PASTURAUD (M^{lle} M.-T.), 16, rue de Rémilly, Versailles (Seine-et-Oise).
- 949 m PATTERSON (A.-L.), Institut for Cancer research Fox Chase, Philadelphia II Penn. (U. S. A.).
- 932 m PAVANS DE CECCATY, Compañia Andaluza de Minas Antonio Maura 10, Madrid (Espagne).
- 927 PAVLOVITCH (S.), professeur à l'Université, laboratoire de géologie, rue Dobracina, 16, Belgrade (Yougoslavie).
- 950 PELLAS (P.), ingénieur-géologue du C.E.A., 12, rue du Sergent-Maginot, Paris.
- 953 PELLETIER-DOÏSY (Ch.), Service géologique du Maroc, Rabat (Maroc).
- 930 PÉRÉBASKINE (V.), ingénieur-géologue du Service géologique de l'A.O.F., 13, rue des Capins, Saint-Gaudens (Haute-Garonne).
- 945 PERMINGEAT (F.), ingénieur civil des Mines, Service géologique du Maroc, Rabat.
- 949 PERRIN (R.), directeur général adjoint de la Société d'Électro-Chimie d'Ugine, 10, rue du Général-Foy, Paris, 8^e.
- 927 m PERROND (A.-P.), ingénieur des Mines.
- 951 PETIT-LEDU (G.), 23, rue Pierre-Curie, Arcueil, Seine.
- 949 PETITPAS (M^{lle}), 12, quai Henri-IV, Paris, 4^e.
- 952 PIERROT (R.), 10, rue Franklin, Sartrouville (S.-et-O.)

- 1951 PIZY (M^{lle} M.), ingénieur chimiste, Laboratoire de cristallographie du S. R. C. T., 37, rue Dussoubert, Paris, 2^e.
- 1946 *m* POBEGUIN (M^{lle} Th.), chargée de Recherches au C. N. R. S., 23, rue Fourcroy, Paris.
- 1926 POITEVIN (E.), chef du service de minéralogie, Commission géologique du Canada, Ottawa.
- 1932 POLINARD (Ed.), ingénieur civil des Mines, 16 bd Louis Schmidt, Etterbeek-Bruxelles (Belgique).
- 1937 PORTEVIN (A.), professeur à l'École Centrale, 23 boulevard de Beauséjour, Paris, 16^e.
- 1948 POUGHON (A.), à Lachaux (P.-de-D.).
- 1952 POUIT (G.), géologue au ministère des Colonies, 88 avenue d'Italie, Paris, 13^e.
- 1953 PROUHET (J.-P.), ingénieur géologue E. N. S. G. Compagnie royale Asturienne des Mines, Touissit par Oudja (Maroc).
- 1950 PROUVOST (J.), assistant au Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 3, rue Jules-Auffret, Pantin (Seine).
- 1950 PRUVOST (P.), professeur à la Sorbonne, 5, place du Panthéon, Paris, 5^e.
- 1951 PRUVOT (P.), docteur ès sciences, 27, rue Jean Lavaud, Fontenay-aux-Roses (Seine).
- 1952 PULOU (R.), chef de travaux, laboratoire de minéralogie, Faculté des Sciences de Toulouse (Haute Garonne).
- 1912 PUYAUBERT (Dr L.), 14, rue Nationale, Tulle (Corrèze).
- 1928 PUZENAT (L.), ingénieur civil, géologue M.N.H.N. Dar Souari, avenue du Général-de-Lamothe, Marrakech-Palmeraie (Maroc).
- 1938 RAGUIN (E.), professeur à l'École nationale supérieure des Mines, directeur du Service de la Carte Géologique de la France, 16, rue Bertron, Sceaux (Seine).
- 1920 *m* RANDOIN (A.), 16, rue de l'Estrapade, Paris, 5^e.
- 1953 RANOUX (J.), ingénieur au bureau de recherches minières de l'Algérie, 88, rue Michelet, Alger, Algérie.
- 1953 RAVAILLE (M.), licencié ès sciences, 40, rue Louis Blanc, Courbevoie (Seine).
- 1949 *m* RAVIER (J.), assistant au Laboratoire de Géologie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.

- 26 *m* REINHARD, professeur de Minéralogie et de Pétrographie à l'Université de Bâle.
- 35 RENAUD (P.), ancien élève de l'École Normale Supérieure, docteur ès sciences, chargé de Recherches du C.N.R.S., 74, rue Claude-Bernard, Paris.
- 49 RERAT (C.), 26, rue du Lycée, Sceaux.
- 45 *m* RILEY (D.-P.), The Royal Institution, 21 Albemarle street, London w. 1 (England).
- 48 RIMSKY (A.), Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 27 RIVERA PLAZA (Gil), ingénieur des mines, professeur à l'École des ingénieurs, Apartado 1439, rue Afligidos, 137, Lima (Pérou).
- 44 RIVIERE (A.), maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Laboratoire de Géologie S.P.C.N., 12, rue Cuvier, Paris, 5^e.
- 39 RIVOLLIÉ (C.), ingénieur E.C.L., à Bourdeau (Savoie).
- 32 ROGERS (A. F.), professeur émérite de Minéralogie, Stanford University, California (U. S. A.).
- 52 ROMAIN (P.), 9, rue Domaine-du-Plantier, Talence (Gironde).
- 52 ROOS (M^{lle} M.-M.), licenciée ès sciences, 6, rue Dalou, Paris, 15^e.
- 48 *m* ROQUES (A.), professeur à la Faculté des Sciences, Clermont-Ferrand.
- 40 ROSAS DA SILVA (D.), directeur du Laboratoire de Géologie et Minéralogie de la Faculté des Sciences de Porto (Portugal).
- 44 *m* ROSE (A.-J.), docteur ès sciences, 13, rue Soufflot, Paris, 5^e.
- 28 ROTON (vicomte G. DE), Le Vigneau, par Sauternes (Gironde).
- 32 ROUBAULT (M.), professeur à la Faculté des Sciences, École nationale supérieure de Géologie appliquée, 94, avenue de Strasbourg, Nancy (M.-et-M.).
- 52 ROUGER (M^{lle} C.), chimiste au Laboratoire de géologie et minéralogie de la Faculté des Sciences, 3, avenue Vercingétorix, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- 43 ROUTHIER (P.), agrégé de l'Université, Laboratoire de Géologie, École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5^e.
- 24 *m* ROYER (L.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences d'Alger.

- 1949 SABATIER (G.), docteur ès sciences, 31 *bis*, rue Cam-
pagne Première, Paris, 14^e.
- 1951 SAHAMA (Th. G.), professeur, Institute of geology
Snellmanink 5, Helsinki (Finlande).
- 1947 *m* SALLÈLES (A.), 5, place de la Révolution, Béziers
(Hérault).
- 1948 SANDREA (A.-P.), Laboratoire de Minéralogie d
Muséum, 61, rue Buffon, Paris, 5^e.
- 1948 SARCIA (A.), 44, boulevard Jeanne-d'Arc, Montreuil
(Seine).
- 1948 SARCIA (M^{me} J.), 44, boulevard Jeanne-d'Arc, Mon-
treuil (Seine).
- 1936 SAUCIER (H.), maître de conférences, Laboratoire
de minéralogie, Faculté des Sciences, 1, rue Blessig
Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1952 SAYRE (D.), Dr. sc., The Eldridge Reeves, Johnson
Foundation for medical physics, University of Penn-
sylvanie, Philadelphia 4, Pa. (U. S. A.).
- 1949 *m* SCHAIRER (J. F.), Dr, Geophys. Lab. Carnegie Inst.
2801 Upton Street, Washington D.C. (U.S.A.).
- 1903 *m* SCHALLER (W. T.), minéralogiste au Geological
Survey, Washington (U. S. A.).
- 1947 SCHEIBLING (G.), ingénieur-docteur, 25, quai Mullen-
heim, Strasbourg (Bas-Rhin).
- 1952 SCHNEIDERHÖHN (H.), professeur, directeur de
l'Institut minéralogique de l'Université, Sonnhalden
10, Freiburg-in-Brisgau (Allemagne).
- 1920 SCHOEP (A.), professeur émérite à la Faculté des
Sciences de Gand et à la Faculté polytechnique de
Mons, 87, rue Baudeloo, Gand (Belgique).
- 1927 SCIENCE LIBRARY, Science Museum, South Ken-
sington, Londres, S. W. 7 (Angleterre).
- 1948 SEGUELA, assistant au Laboratoire de Minéralo-
gie de la Faculté des Sciences de Toulouse, Toulouse.
- 1948 SENTENAC (R.), 15, rue Volta, Toulouse (Haute-Gar.).
- 1938 SERRE (H.), Saint-Laurent-le-Minier (Gard).
- 1949 SERVICE de la Carte géologique, boulevard Baudin
Alger.
- 1923 SERVICE DES MINES de Madagascar, Tananarive.
- 1939 SERVICE DES MINES et de la carte géologique du
Maroc, Rabat (Maroc).
- 1935 SERVICE géologique de l'Afrique Occidentale fran-
çaise, boîte postale 355, Dakar (A. O. F.).

- 939 SERVIGNE (M.), maître de Conférences de Physique générale, Institut National agronomique, 16, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.
- 951 SEVIN (R.), 86, rue Cardinet, Paris, 17^e.
- 950 SOCIÉTÉ d'Histoire Naturelle d'Autun, M. Lacombe, secrétaire, 19, rue Saint-Antoine, Autun (S.-et-L.).
- 952 SOCIÉTÉ des produits réfractaires de Fumel et Libos, 1, rue Jules-Lefebvre, Paris, 9^e.
- 920 SOUSA TORRES (A. S.), Rua Campolide 74, terc. E., Lisbonne (Portugal).
- 922 STEVANOVITCH (S.), Brankova, 34, Belgrade.
- 938 m STORA (M^{lle}), Laboratoire de Chimie C, Faculté des Sciences de Paris, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 948 TCHIMICHKIAN (G.), minéralogiste à la Régie Autonome des Pétroles, Villa Claire-Fontaine, avenue de Toulouse, Saint-Gaudens (Hte-Garonne).
- 941 m TERMIER (H.), professeur à la Faculté des Sciences, rue Michelet, Alger.
- 953 TERTIAN (R.), chef de laboratoire de rayons X à la Compagnie Pechiney, 42, rue de Rouelle, Paris, 15^e.
- 951 THEVENIN (R.), ingénieur aux Charbonnages de France, 33, avenue Aristide-Briand, Verneuil (Oise).
- 949 TOURNAY (M^{me} M.), Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 944 TROMBE (F.), maître de Recherches, 37, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.
- 925 TUCAN (Dr F.), professeur de Minéralogie à l'Université de Zagreb (Yougoslavie).
- 938 m TUNELL (G.), Dpt of Geology, University of California, 405 Hilgard Avenue, Los Angeles 24, California (U. S. A.).
- 937 URBAIN (P.), directeur du Laboratoire d'Hydrologie et de Climatologie, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 948 m VALDEAVELLANO (C.-G. DE), inspecteur des chemins de fer, Montesquiza, 11, Madrid (Espagne).
- 937 VANDERMARCO (J.), directeur gérant de la Société « Kaolins et pâtes céramiques du Limousin », 16, boulevard Gambetta, Limoges.
- 908 VÉSIGNIÉ (L.), colonel d'artillerie en retraite, 22, rue du Général-Foy, Paris, 8^e.
- 941 VINCIENNE (H.), 11, rue Delambre, Lagny (S.-et-M.).
- 947 VLES (M^{me}), professeur, 70, boulevard Wilson, Saint-Nazaire.

- 1951 VOIRIN (M.), 24, rue Jacques-Delille, Saint-Dié (Vosges).
- 1947 *m* VUAGNAT (M.), docteur ès sciences, chargé de cours à l'Université de Genève, Onex, Genève (Suisse).
- 1952 WALKER (C. B.), Ph. Dr., Department of physics, Mass. Inst. of Technology, Cambridge, Massachusetts (U. S. A.).
- 1949 WALTER-LÉVY (M^{me}), professeur de Chimie, la Faculté des Sciences de Caen, Laboratoire de Chimie C, 1 rue Victor-Cousin, Paris.
- 1929 WEBER (L.), professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).
- 1931 WEIL, chef de travaux de Minéralogie, 1, rue Blessig, Strasbourg.
- 1950 WEILL (M^{me} A.-R.), 30, rue Washington, Paris, 8^e.
- 1949 *m* WICKMAN (F. E.), professeur, Swedish museum of natural history, department of mineralogy, Stockholm 50 (Suède).
- 1953 WITTE (G. de), ingénieur des mines, chargé de cours à l'Université de Gand, 20 Nieuwstraat, Wieuwe (Belgique).
- 1949 *m* WOOD (M^{me} E. A.), Bell telephone laboratories, Murray Hill, New-Jersey, N. J. (U. S. A.).
- 1929 *m* WYART (J.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- 1940 ZVEREFF (R.), Sana Gallouédec, Parigné-l'Évêque (Sarthe).
-

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE
ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1953. — BULLETIN DE JANVIER-MARS

Séance du 8 janvier 1953.

PRÉSIDENTE DE M. J. LAVAL, PRÉSIDENT SORTANT
PUIS DE M. P. CHEVENARD, NOUVEAU PRÉSIDENT.

En ouvrant la séance, M. J. LAVAL donne la parole à M. CURIEN, trésorier, pour la lecture du rapport financier annuel.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE
ET DE CRISTALLOGRAPHIE

1952

Compte rendu financier.

RECETTES

Cotisations des membres.....	316.257
Intérêts du fonds de réserve.....	15.464
Abonnements et ventes de collections.....	992.326
Remboursements de tirés à part.....	111.861
Subvention du C. N. R. S.....	1.500.000
Subventions diverses.....	181.458
Subventions pour impression de thèses.....	220.000
Total.....	3.337.366

DÉPENSES

Bulletin (frais d'impression et port).....	2.896.554
Frais de secrétariat.....	108.269
Indemnité du garçon de salle.....	5.000
Sécurité sociale.....	29.576
Assurance contre l'incendie.....	2.139
Société Générale : droits de garde et de tenue de compte.....	4.012
Investissement statuaire en valeurs mobilières.....	26.954
Cotisations diverses.....	7.100
Total.....	3.079.604

BALANCE DES COMPTES DE L'ANNÉE 1952

En caisse, au compte chèque postal, à la banque, à la Caisse d'épargne, et en réserve au 1 ^{er} janvier 1952.....	2.263.432
Recettes en 1952.....	3.337.366
Total.....	5.600.798

En caisse, au compte chèque postal, à la banque, à la Caisse d'épargne et en réserve au 1 ^{er} janvier 1953.....	2.521.194
Dépenses en 1952.....	3.079.604
Total.....	5.600.798

M. JOURDAIN lit ensuite le rapport des membres de la Commission de comptabilité : « Les membres de la Commission de comptabilité, M^{lle} CAILLÈRE, MM. JOURDAIN et SABATIER, ont examiné les comptes de l'exercice 1952 et ont constaté leur parfaite régularité. Ils proposent d'adresser à M. CURIEN les remerciements de la Société.

Cette proposition est adoptée à l'unanimité des membres présents.

On procède ensuite au dépouillement du scrutin pour l'élection du Président et de deux Vice-Présidents pour l'année 1953.

En attendant les résultats, les membres présents sont invités :

— à élire trois membres du Conseil en remplacement de MM. HOCART, GEFFROY et DÉRIBÉRÉ.

MM. LETORT, FISCHESSE et CHERVET sont élus à l'unanimité ;

— à renouveler dans leur mandat : le trésorier, le bibliothécaire et le secrétaire général. MM. CURIEN, KURYLENKO et ROSE sont réélus à l'unanimité ;

— à remplacer M. RÉRAT, secrétaire adjoint, appelé à d'autres fonctions. M. GUILLEMIN est élu à l'unanimité.

Puis M. LAVAL, président, au nom du Conseil d'Administration, propose de nommer membre d'honneur M. BUTTGENBACH, professeur émérite à l'Université de Liège, membre de notre Société depuis 1901 bien connu de tous les minéralogistes et pétrographes pour ses très beaux et nombreux travaux.

M. le professeur BUTTGENBACH est nommé à l'unanimité.

Résultats du scrutin :

Nombre de votants : 145.

Ont obtenu :

Pour la Présidence :	M. P. CHEVENARD..	116 voix
	M. R. GAY.....	21 —
	Bulletins nuls.....	8 —
Pour la Vice-Présidence :	M. R. HOCART.....	139 voix
	M. J. GARRIDO.....	136 —
	Divers	6 —

M. P. CHEVENARD est donc proclamé Président, MM. R. HOCART et J. GARRIDO, Vice-Présidents.

M. LAVAL prend ensuite la parole.

Il remercie la Société de lui avoir confié la Présidence en 1952. Il succéda dans ce fauteuil à M. Boubée, dont il rappelle la gestion remarquable et efficace en 1951.

« C'est d'une Société en plein essor que vous m'aviez élu Président. Grâce au dévouement absolu de notre secrétaire général, M. Rose et de notre trésorier, M. Curien, ma tâche a été un plaisir. Je les remercie de tout cœur. »

M. Laval rappelle ensuite que la Société a accueilli en 1952, 33 membres nouveaux, et a déploré 2 décès, ceux de MM. Ma-

chado e Costa et Munier. Il adresse à leurs familles les condoléances de la Société. Le nombre des abonnés au *Bulletin* est passé de 205 à 225 et les échanges de 78 à 91. Il résume ensuite les travaux de l'année, tant en publications dans le *Bulletin* qu'en communications orales au cours des séances. Le travail scientifique accompli en 1952 est ample et varié : son domaine s'étend de la cristallographie théorique à l'étude de nouveaux gîtes minéraux. Le Président félicite tous les auteurs et les remercie, car en lisant leurs mémoires ou en écoutant leurs communications, il a beaucoup appris.

« Grâce au concours du C. N. R. S. et à quelques généreux donateurs, notre situation financière reste saine ; M. Laval s'en félicite, car l'impression d'un livre jubilaire prévue pour le 75^e anniversaire de la Société en 1953-54, entraînera sans doute de lourdes dépenses.

« Il me reste à vous féliciter d'avoir appelé à ma succession le grand savant et le grand administrateur qu'est M. Chevenard. Je lui exprime notre très vive gratitude d'avoir bien voulu mettre sa haute autorité, sa réputation universelle au service de notre Société. Les travaux de M. Chevenard, connus dans le monde entier, se distinguent par leur esprit de clarté et de rigueur qui est bien de chez nous. Vous ne pouviez mettre la Société en de meilleures mains. Pour lui témoigner notre gratitude vous me permettrez de l'assurer de notre dévouement absolu. »

M. Laval cède alors le fauteuil présidentiel à M. P. Chevenard.

M. CHEVENARD remercie tout d'abord M. le président Laval et il assure tous les membres de sa vive gratitude et de son entier dévouement.

Puis il évoque le souvenir de Georges Friedel, car il doit à cet inoubliable Maître d'avoir compris, sur l'exemple achevé de la minéralogie, ce que doit être l'évolution d'une science physique qui progresse par les conquêtes alternées de l'expérience et de la théorie. Cet enseignement lui paraît contenir en germe le programme de notre activité.

« Les profondes déductions de la cristallographie mathématique, les résultats des observations précises et des expériences fines, l'identification des espèces minérales et leur classification, l'étude de leurs groupements au sein des roches, la description des gîtes minéraux, les discussions sur leur genèse, etc., continueront à meubler utilement et agréablement nos séances »....

« Au cours de ces séances, pour un bon nombre organisées en commun avec des sociétés amies, nous écouterons avec le même plaisir l'exposé de quelque nouvelle conquête théorique, la description d'un minéral récemment découvert, la confrontation des constantes élastiques calculées et mesurées dans un cristal de fer, le récit des efforts entrepris pour extraire du sol français le tungstène réclamé par la sidérurgie fine ou l'uranium nécessaire aux recherches sur l'atome, l'histoire des procédés utilisés par l'industrie pétrolière pour forer les trous de sonde à grande profondeur. »

Mais, M. Chevenard estime que notre Société peut nourrir l'ambition d'élargir son domaine et de l'étendre à toute connaissance, à toute application qui ressortissent aux techniques de la Minéralogie et qui font intervenir l'architecture atomique des solides.

« Avec les métallographes, nous nous intéresserons aux lois qui gouvernent la déformation plastique et le fluage des éprouvettes métalliques mono ou polycristallines, aux modifications ainsi infligées au réseau, à sa restauration par chauffage, à la recristallisation du métal par recuit. Avec les métallurgistes, les céramistes, et les verriers, nous rapprocherons les laitiers, les tessons et les verres des roches naturelles et nous discuterons les théories géodésiques inspirées par ce rapprochement. A l'instar de G. Friedel et de F. Grandjean qui, par leur étude magistrale des corps nématiques et smectiques, ont reculé les frontières de l'ancienne minéralogie classique, nous écouterons les chimistes décrire les corps organisés en chaînes macromoléculaires qui, tels que le nylon, voient leurs propriétés changer du tout au tout quand un étirage vient à modifier l'orientation de ces macromolécules. »

Selon le nouveau Président, un tel élargissement du programme ne peut entraîner que d'heureuses conséquences dans l'ordre scientifique comme dans l'ordre pratique.

« Il me paraît essentiel, en effet, de ne pas dissocier la portée scientifique et l'aspect utilitaire de nos travaux, car il n'est pas de hiérarchie dans les efforts pour connaître et servir. Un rapprochement de notre Société avec l'industrie me paraît plein d'avantages. Si nous parvenons à intéresser ingénieurs et exploitants à nos recherches, à éveiller leur curiosité sur nos travaux, à leur en faire comprendre l'utilité peut-être lointaine mais sûre, nous pouvons espérer nous voir poser d'intéressants problèmes, obtenir une aide pour les résoudre, acquérir de nouveaux moyens matériels, un surcroît de prestige et de prospérité. »

Enfin, M. Chevenard formule l'espoir d'obtenir l'aide des industriels pour réaliser, en 1953, notre grand projet, celui « d'éditer, à l'occasion du 75^e anniversaire, un numéro spécial du Bulletin, appelé, par le nombre, la variété, l'intérêt et l'utilité des mémoires, par la personnalité des auteurs, à marquer une date dans l'histoire de notre Société. »

Membre nouveau.

M. Guy AUBERT, présenté à la dernière séance, est proclamé membre de la Société.

Présentations.

M. Jean MORISOT, Mine de Mibladen, Midelt, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. Permingeat.

M. Maurice RAVAILLE, licencié ès sciences, 40, rue Louis-Blanc, Courbevoie, Seine, présenté par MM. Sabatier et Rose.

M. François LE BAIL (frère), professeur de sciences naturelles au Likès de Quimper (Finistère), présenté par M^{lle} Le Mercier et M. Guillemin.

M. Pierre FINKELSTEIN, ingénieur géologue (E. N. S. G. N.), 96, boulevard Magenta, Paris, 10^e, présenté par MM. Orcel C. Lévy.

*
* *

M. P. CHEVENARD, président, annonce alors aux membres que notre Société parrainera la Société scientifique du Saumurois à la Fédération des Sociétés de sciences naturelles et que d'autre part, elle sera représentée à cette même Fédération par MM. Boubée, Dérivé et Guillemain.

M. Chevenard souhaite alors la bienvenue à M. Vuagnat, chargé de cours à l'Université de Genève, et en lui donnant la parole le remercie d'être venu présenter une communication qui symbolise la collaboration étroite de notre Société et des Sociétés étrangères.

*
* *

Communications.

1° M. M. VUAGNAT : *Sur un phénomène de serpentinitisation dans les roches vertes du Chenaillet (Hautes-Alpes).*

Un petit massif de serpentine situé à l'est du Chenaillet contient des structures en boules à zones concentriques dont le centre est en diabase arborescente altérée et l'enveloppe la plus externe en serpentine. Ces structures sont étudiées sous le microscope et au moyen d'analyses chimiques et radiocristallographiques. On est conduit à admettre qu'il s'agit, au moins partiellement, d'une serpentinitisation métasomatique.

Au cours de la discussion, M. Jung demande à l'auteur des précisions sur la relation entre les phénomènes de serpentinitisation et d'albitisation et sur la nature de l'enrichissement en magnésie ; M. Raguin sur la nature du magma qui a donné naissance aux serpentinitisations.

2° M^{lle} R. LAGRANGE et M. P. URBAIN : *Répartition des éléments décelables spectrographiquement dans les eaux minérales.*

Les éléments reconnus (Ag, Sn, Cu, Pb, Ge, Mo, Ti, Sb, Gl, Zn, Ga, Ba, Ni, Al, Va, Bi, Wo, Sr, Tl) appartiennent, à cinq exceptions près, au groupe dont l'ion S⁻ — provoque la précipitation, celle-ci étant toutefois incomplète en milieu

alcalin. On ne s'étonnera donc pas de les trouver à l'état de traces dans les eaux minérales. Les minéraux filoniens de ces éléments sont principalement des sulfures simples ou complexes.

A la suite de cette communication, M. Geffroy fait remarquer que, compte tenu des sensibilités spectrographiques respectives des éléments, le bismuth et le tungstène sont rares ou absents dans les eaux thermales *actuelles*, alors que l'antimoine et le zinc y sont fréquents. Il y a là une coïncidence remarquable avec les observations de terrain : en effet, le zinc est très fréquent, et l'antimoine est présent dans les dépôts métallifères des séries « post-hercyniennes » françaises, dépôts qui semblent en relation avec des circulations hydrothermales (géothermales ou volcaniques) du type *actuel*. Le bismuth et le tungstène au contraire n'apparaissent, en France du moins, que dans les gîtes dépendant de la métallogénie hercynienne normale.

M. Chevenard souligne enfin le rôle capital des éléments en quantités infimes, aussi bien sur l'efficacité thérapeutique des eaux thermales que dans d'autres domaines, sur les qualités des alliages métalliques, par exemple.

3^e MM. J. CHERVET et R. PIERROT : *Contributions à la méthode chromatographique par contact de Th. Hiller appliquée aux minerais.*

Les auteurs présentent un nouvel appareillage particulièrement adapté aux attaques électrolytiques en précisant l'utilité et les avantages de ce mode d'attaque. Ils étudient la détermination et la localisation des métaux contenus dans un minerai et donnent des réactions caractéristiques de certains de ces métaux.

Suit une discussion animée par M. Dérivé, M. Orcel qui fait remarquer que l'outillage précis et soigné des auteurs permettra de mettre en valeur la méthode de Hiller, et par M. Guillemin qui souligne l'intérêt de la méthode, en particulier pour la localisation du vanadium dans les minerais de fer.

Séance du 12 février 1953.

PRÉSIDENTENCE DE M. P. CHEVENARD, Président.

Membres nouveaux:

M. M. FINKELSTEIN, LE BAIL, MORISOT, et RAVAILLE, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la société.

Présentations.

M. Jacques RANOUX, Ingénieur au Bureau de recherches minières de l'Algérie, 88, rue Michelet, Alger, présenté par M. Vincienne et Doucet.

Le LABORATOIRE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE, 191, rue Saint- Jacques, Paris, 5^e présenté par MM. Barrabé et Routhier.

M^{lle} Louise HALM, directeur technique de l'Union française des produits réfractaires, 15, rue de Milan, Paris, 9^e, présentée par MM. Wyart et Rose.

M. J. BOULADON, Ingénieur civil des mines, Service géologique du Maroc, Rabat, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. P. BOURRIEAU, Service géologique du Maroc, Rabat, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. H. DREZET, Service géologique du Maroc, Rabat, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. P. FREHRING, Service géologique du Maroc, Rabat, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. P. LEBLANC, Service géologique du Maroc, Rabat, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. Ch. PELLETIER-DOISY, Service géologique du Maroc, Rabat, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. J. P. PROUHET, Ingénieur géologue ENSG, Compagnie royale asturienne des Mines, Touissit, par Oudja, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. C. OFTEDAHL, Professeur de pétrographie et de minéralogie, Université d'Oslo, Norvège, présenté par MM. O. et Sandréa.

M. R. TERTIAN, Chef de Laboratoire de rayons X à la Compagnie Pechiney, 42, rue Rouelle, Paris, 15^e, présenté par MM. Legrand et Rose.

M^{lle} M. DEUDON, Ingénieur à l'IRSID, 6, rue de Lota, Paris, 16^e, présentée par M^{lle} Caillère et M. Kraut.

M. M. DEMANDER, Directeur de l'exploitation de la mine de Montebbras-en-Soumans, présenté par MM. Orcel et Geffroy.

*
* *

En ouvrant la séance, M. CHEVENARD, Président, fait part aux membres :

— du décès de M. le Professeur Paul NIGGLI, membre honoraire de notre Société. M. Chevenard se fait l'interprète de tous les membres pour adresser à M. le Professeur Ernst Niggli et à sa famille l'expression de ses plus sincères condoléances ;

— de la parution d'une nouvelle revue bimestrielle internationale de la science des métaux : *Acta metallurgica* ⁽¹⁾.

Puis M. BOUBÉE adresse à M. DOLLFUS les plus chaleureuses félicitations de tous les membres pour sa récente promotion au grade d'officier de la Légion d'Honneur.

*
* *

Présentation d'échantillons.

M^{lle} M. LE MERCIER présente des échantillons minéralogiques ramassés lors d'un récent voyage en Bretagne ; la présence

(1) Pour tous renseignements s'adresser au Secrétariat de la Société française de Métallurgie, 25, rue de Clichy, Paris, 9^e.

éryl lui avait été signalée à Menez-Goaliou aux environs de Quimper par le Frère Le Bail.

Le gisement est situé à 24 km au N.-E. de Quimper. Peu après avoir franchi le pont sur l'Odéa en allant de Tregourez à Coray, on trouve à gauche un chemin qui mène aux carrières situées dans un pointement de granulite dans les schistes Brioveriens. Cette granulite est traversée de filonnets de pegmatite constituée par des quartz plus ou moins enfumés souvent fétides, de la muscovite palmée, du microcline.

Le *béryl* se rencontre dans la pegmatite en cristaux de 3 à 5 cm., vert très clair, parfois incolores, transparents, parfois groupés en faisceaux ressemblant aux Saints-Sacrements d'Alençon.

L'*apatite*, en cristaux bleu vert, opaques, de plusieurs centimètres est manganésifère.

Dans une des trois carrières, pauvre en filonnets de pegmatite le *mispickel* se trouve en rognons dans la granulite; n'est pas accompagné par d'autres minéraux métalliques et se présente parfois en cristaux atteignant 2 centimètres.

Le *mispickel* se rencontre aussi dans les filonnets de pegmatite où il accompagne la *pyrite*, et accessoirement, la *chalcoppyrite*, et l'*érubescite*. Sa décomposition amène parfois la formation de *scorodite*, en octaèdres orthorhombiques vertâtres. L'aspect des minéraux et leurs associations rappellent les échantillons provenant de La Villelder.

M^{lle} Le Mercier présente, d'autre part, des cristaux de *rutile* recueillis sur la plage de Kerleven, située à quelques kilomètres de Concarneau dans la Baie de La Forêt. Ce sont des cristaux généralement maclés, atteignant 4 cm. Certains échantillons montrent le minéral en place dans une granulite décomposée. Le *rutile* est accompagné d'*ilménite* probablement à la suite de sa transformation.

Communications.

1^o M^{lle} S. CAILLÈRE, MM. S. HENIN et J. ESQUEVIN : *Recherches sur la synthèse des minéraux argileux.*

Des expériences ont été entreprises afin de préparer des argiles par attaque électrolytique d'anodes de divers métaux baignant dans une solution de silicate alcalin. Les substances obtenues semblent constituées par des feuillets d'hydroxyde séparés les uns des autres par une couche de molécules d'eau, l'ensemble étant stabilisé par une petite quantité d'anions siliciques répartis à la surface des feuillets d'hydroxydes. Des produits analogues ont été obtenus en substituant au silicate de la solution un aluminat ou un chromate alcalin.

Prendent part à la discussion M. Friedel et M. Chevenard.

2° M. Ch. LEGRAND, M^{me} et M. R. TERTIAN : *Étude radiocristallographique des mélanges boehmite-hydrargillite.*

Les auteurs comparent les méthodes par réflexion et par transmission qui fournissent sensiblement la même précision. Ils étudient l'influence de la grosseur des cristallites, et confrontent les résultats avec ceux précédemment acquis pour d'autres mélanges et en tirent quelques conclusions générales.

A la suite de cette communication M. Goñi demande des précisions sur l'origine des échantillons utilisés, l'état cristallin de la substance pouvant influencer sur la précision des résultats.

3° M. A. GRUND : *Structure cristalline du disilicate de soude* $\frac{2}{\infty} \text{Na}_4^{[6,5]} [\text{Si}_4 \text{O}_{10}]$.

Les cristaux de forme lamellaire {100}, présentant un clivage pseudo-micassé, ont été préparés par M. Franke. L'auteur décrit la méthode utilisée par M. Franke. La maille est monoclinique; ses paramètres sont : $a = 12,26 \text{ \AA}$, $b = 4,80 \text{ \AA}$, $c = 8,08 \text{ \AA}$, $\beta = 104^\circ 18'$. Le groupe spatial est $P2_1/a$. La structure a été déterminée à l'aide de projections de Patterson, de Fourier bi-dimensionnelles et de la méthode des superpositions. Elle est formée de couches $[\text{Si}_4 \text{O}_{10}]^{-4}$ dans lesquelles trois des quatre oxygènes de chaque tétraèdre sont liés à deux silicium. Entre ces couches se trouvent les sodium au nombre de huit par maille. Quatre de ces huit sodium sont entourés de six oxygène, les quatre autres de cinq oxygène.

4^o MM. GONI et L. GUILLEMIN : *Une espèce minérale discrétée : la buszite.*

Les auteurs montrent que la buszite, minéral trouvé à un exemplaire à Khan, sud-ouest africain, est une bastnaesite. Le Président remercie tous les auteurs de leurs intéressantes communications.

Séance du 12 mars 1953.

PRÉSIDENCE DE M. R. HOCART, VICE-PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

MM. BOULADON, BOURRIEU, DEMANDER, M^{lle} DEUDON, MM. REZET, FREHRING, M^{lle} HALM, MM. LEBLANC, OFTEDAHL, PELLETIER-DOISY, PROUHET, RANOUX, TERTIAN, et le LABORATOIRE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentations.

M. Douchan STANGATCHILOVITCH, minéralogiste, Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon, Paris, 5^e, présenté par MM. Kraut et Prouvost.

M. Daniel FAUQUIER, minéralogiste, 3, rue de l'Arioste, Paris, 16^e, présenté par MM. Orcel et Lévy.

M. Claude BRACHET, ingénieur en chef de l'Artillerie navale 9, rue Jean-Louis-Forain, Paris, 17^e, présenté par M^{me} A. R. Weill et M. Curien.

*
* *

En ouvrant la séance, M. HOCART, Vice-Président, souhaite d'abord la bienvenue à M. PREISINGER, de l'Université de Liège, puis fait part aux membres du compte rendu de la séance annuelle de l'Assemblée générale de la Fédération fran-

gaise des Sociétés de Sciences Naturelles qui a eu lieu le 14 février 1953 ; la Société française de Minéralogie et de Cristallographie était représentée par MM. Boubée et Dérivé. « La séance s'est tenue sous la Présidence de M. J.-M. Roux assisté du Professeur VAYSSIÈRE.

Il fut donné d'abord compte rendu de l'année biologique par M. Berland, puis de l'Office de Faunistique par M. Chopard ; ces deux publications ont une activité satisfaisante.

Le projet d'un périodique consacré aux Sciences Naturelles et destiné à un large public, dont il avait été question à la dernière assemblée prend corps. Il s'appellerait *Naturalia* et serait édité par Chaix sur le modèle de *Geographia* et son premier numéro paraîtrait en octobre prochain.

Le Président rappelle qu'un *Bulletin de l'Union Française des Sociétés d'Histoire Naturelle* destiné à grouper les efforts des Sociétés qui ne peuvent publier un bulletin particulier est à son deuxième numéro.

Il est rappelé aussi que toute Société publiant un bulletin est exonérée pour celui-ci de la taxe à la production. En cas de difficultés à cet égard les intéressés peuvent se mettre en rapport avec la Fédération.

Trois nouvelles Sociétés sont présentées :

- la Société Linéenne du Nord de la France à Amiens
- la Société de Biométrie,
- la Société Scientifique du Saumurois,

cette dernière est parrainée par la Société française de Minéralogie et de Cristallographie et la Société d'Histoire Naturelle de Savoie.

Au cours des questions diverses, M. BOUBÉE signale que la Société française de Minéralogie et de Cristallographie fête bientôt son 75^e anniversaire. »

Présentations d'échantillons.

L. JOURDAIN présente un magnifique échantillon de *blende* Miel des Pics de l'Europe, provenant de la mine de Aliva de Oviedo (Espagne).

Communications.

M^{me} M. CHRISTOPHE : *Diagrammes de Debye-Scherrer de petits cristaux repérés dans les plaques minces de roches.* L'auteur présente des diagrammes de poudre d'une quantité matière de l'ordre de 10^{-6} gr. et donne trois exemples d'application : identité de la losite et de la cancrinite ; distinction entre la wöhlerite et la lavenite ; mesure des paramètres de la maille élémentaire de la högbomite.

À la suite de cette communication M. Dérivé signale que l'observation sous lumière de Wood de ces minéraux, qui ont une fluorescence très caractéristique, serait intéressante ; Hocart demande des précisions sur la pureté des diagrammes, la difficulté de manipulation de ces petits cristaux pouvant provoquer la souillure des échantillons par des impuretés.

MM. F. KRAUT et J. GANDILLOT : *Sur l'existence d'un quartz clivé à Saint-Paul-la-Roche (Dordogne).*

Kraut résume les résultats d'une étude qu'il a présentée avec M. Gandillot, au Congrès Géologique International de 1927.

Il montre une série de vues macroscopiques et de micrographies représentant des échantillons recueillis dans le gisement de quartz de Saint-Paul-la Roche.

Les plans de discontinuité suivant les faces des rhomboèdres direct et inverse et du prisme confèrent au minéral une élasticité remarquable. Il est d'origine mécanique.

Le cours de la discussion MM. Wyart et Dérivé signalent des exemples de quartz « clivé » qui leur sont connus.

En conclusion, M. Kraut exprime ses regrets de voir menacer l'existence de ce filon d'intérêt scientifique exceptionnel. Plusieurs membres de la Société partagent ses inquiétudes et préconisent une démarche auprès des industriels qui exploitent le rocher.

3° MM. Y. ADDA et R. COLLONGUES : *Polissage électrolytique et chimique de quelques oxydes métalliques.*

Le polissage électrolytique de certains composés ioniques conducteurs ou semi-conducteurs peut être réalisé suivant une méthode dérivant du procédé Jacquet et permet d'obtenir, sur des échantillons extrêmement fragiles, tels que oxydes de fer et de cuivre, FeO et Cu_2O , des surfaces parfaitement polies sans altération de structure. Les auteurs appliquent ce procédé à l'étude, par micrographie électronique, des propriétés du protoxyde de fer.

La discussion est animée par MM. Hocart, Friedel, Lacombe et M^{me} A. R. Weill.

4° M. J.-J. TRILLAT et M^{me} L. TERTIAN : *Étude de minerais radioactifs par radiographie électronique par réflexion et autoradiographie combinées.*

La combinaison de la méthode de radiographie électronique (émission superficielle d'électrons secondaires sous l'influence des rayons X) et d'autoradiographie permet de déterminer la répartition des éléments de numéros atomiques différents à la surface d'un échantillon poli de minerai radioactif et leur corrélation avec les zones de radioactivité.

Après cette communication, M. Wyart souligne l'intérêt de ces méthodes qui peuvent donner lieu à de nombreuses applications. M. Pellas demande des précisions sur la méthode relative des radiographies obtenues par les deux procédés.

Toutes ces communications sont illustrées de nombreuses projections. Le Président remercie vivement tous les auteurs.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1953. — BULLETIN D'AVRIL-JUIN.

Séance du 16 avril 1953.

PRÉSIDENCE DE M. P. CHEVENARD, PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

MM. Claude BRACHET, Daniel FAUQUIER et Douchan STANTCHILOVITCH, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentation.

M. Jean-Jacques TRILLAT, professeur à la Faculté des Sciences, 1, place Aristide-Briand, Bellevue, S.-et-O., présenté par MM. Chevenard et Wyart.

* *

En ouvrant la séance, M. CHEVENARD, président, souhaite la bienvenue à M. le professeur ONORATO, de l'Université de Rome, puis fait part aux membres :

— du Congrès minéralogique de Leoben (Autriche), qui aura lieu du 10 au 20 septembre 1953. Plusieurs excursions minéralogiques sont prévues ;

— de la création de la Société minéralogique du Japon (président : M. HARADA) en date du 30 juin 1952 à l'Université de Tokyo; son but principal sera la coordination de toutes les activités minéralogiques du Japon. Deux périodiques seront publiés. L'un en langue japonaise, l'autre en langues étrangères.

Présentation d'ouvrages.

1. — *Notice sur Alphonse Renard*, Extrait de l'Annuaire de l'Académie royale de Belgique, 1953, par H. BUTTGENBACH.

2. — *Sur la célestie de la région d'Ouezzane et les minéraux qui lui sont associés*, Extrait des notes et mémoires, n° 85, Service géologique du Maroc, 1951, par C. GAUDEFROY et F. PERMINGEAT.

3. — *Prehnite dans le Trias de la région d'Ouezzane*, Extrait des notes et mémoires, n° 85, Service géologique du Maroc, 1951, par C. GAUDEFROY.

4. — *Bibliographie des publications minéralogiques relatives au Maroc*, Extrait des notes et mémoires, n° 85, Service géologique du Maroc, 1951, par C. GAUDEFROY.

5. — *Étude cristallographique de la vanadinite du Tadaout, près du Taouz, Maroc sud-oriental*, Extrait des notes du Service géologique du Maroc, tome 6, 1952, par C. GAUDEFROY.

*
* *

Présentation d'échantillons.

MM. J. GONI et C. GUILLEMIN présentent quelques échantillons recueillis récemment :

1) *Dans la région de Ceilhes (Hérault), riches en gîtes minéraux* : de gros cristaux de *bourbonite*; ces cristaux engagés dans la barytine, sont malheureusement souvent

altérés; leur taille peut atteindre 10 cm. dans la plus grande dimension; ce gisement se trouve au milieu des schistes cambriens, dans le ravin de la Barre au pied des basaltes du Mourgis.

2) A la mine de la Rabasse, actuellement exploitée, entre Ceilhes et Avène, des échantillons de minerais sulfurés et oxydés *mispickel* en cristaux allongés; *pharmacosidélite* ($\text{Fe}_3(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en cristaux cubiques verts atteignant 2 mm.; *carminite* ($\text{PbFe}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$) en petits cristaux rouge carmin à brun noirâtre; *tyrolite*; *anglésite* en octaèdres orthorhombiques de 4 à 5 mm; *botryogène* ($\text{MgFe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en cristaux rouge brun de 1 à 2 mm; *mimétite* en petits prismes hexagonaux incolores.

La Mine de la Rabasse est un gîte de substitution dans les calcaires dolomitiques cambriens, la minéralisation se présente en colonnes de minerais sulfurés et oxydés complexes. Les minéraux oxydés se trouvent surtout au niveau 75 de la première colonne. Parmi ceux-ci, la *pharmacosidélite*, la *carminite*, le *botryogène* et la *tyrolite* n'ont jamais été signalés dans ce gîte.

La description complète de ces minéraux et de certaines espèces encore non déterminées avec certitude, fera l'objet d'un prochain mémoire dans le Bulletin.

Communications.

1^o M^{me} L. COUTURE-MATHIEU : *Structure cristalline du carbonate acide de potassium* CO_3HK .

Les divergences trouvées entre les résultats des spectres de Raman et l'analyse aux rayons X s'expliquent grâce à une nouvelle étude goniométrique et optique du cristal.

A la suite de cette communication, MM. Chevenard et Wyart soulignent l'intérêt du travail de M^{me} Couture-Mathieu qui montre l'importance de l'étude approfondie des formes cristallines.

2° M. J. GONI : *Sur une variété aberrante de diaspore de l'Uruguay (kayserite).*

Dans cette étude, l'auteur montre que la kayserite, espèce décrite par le Dr K. Walther en 1921, est en réalité une variété de diaspore, présentant des propriétés optiques différentes, en particulier le signe optique et l'angle $2V$. L'auteur pense que cette différence peut provenir d'efforts mécaniques, exercés sur le minéral, dans le gisement.

Suit une longue discussion : M. Wyart et M. Curient pensent qu'une étude appropriée du désordre de la structure de ce diaspore permettrait d'expliquer l'origine de ces anomalies optiques ; M. Déribéré cherche à connaître la nature des efforts subis par le minéral ; enfin M. Chevenard compare ces anomalies dans les cristaux minéraux à celles que l'on trouve dans les métaux, à la suite d'efforts mécaniques semblables.

3° MM. C. KURYLENKO et J. GONI : *Jérémiéwite et eichenwaldite.*

Après avoir rappelé les travaux effectués par de nombreux auteurs et confirmé les résultats de Damour et Websky, M. Kurylenko montre que l'examen aux rayons X permet de distinguer plusieurs parties dans ce minéral. La partie centrale ainsi que l'enveloppe hexagonale appartiennent à la jérémiéwite ($a = 8,54_4 \text{ \AA}$; $c = 8,01_5 \text{ \AA}$; $C_{6h}^2 - C 6_3/m$) tandis que la partie intermédiaire forme l'eichenwaldite, pseudo-hexagonale ($a = 8,52_6 \text{ \AA}$; $c = 8,00 \text{ \AA}$; $C_{2h}^3 - C 2/m$). L'auteur réfute les conclusions de Hugo Strunz basées sur l'examen des diagrammes de poudre et relatives à la non-existence de l'eichenwaldite.

Cette communication fera l'objet d'un prochain mémoire dans le Bulletin.

4° M. A. SANDRÉA : *Sur la formation de hōgbomite dans l'ariégite de Frain (Tchécoslovaquie).*

Dans la roche en question se trouve une grande quantité

le pléonaste : vers les zones de contact entre le pléonaste et l'ilménite on observe la transformation du spinelle en hōgboite. La présence de ce dernier minéral a été confirmée par l'étude aux rayons X.

M. Sandréa signale qu'il ne connaît pas d'antériorité à son travail qu'il communique sous toutes réserves.

Le Président remercie vivement tous les auteurs.

Séance du 21 mai 1953.

PRÉSIDENCE DE M. P. CHEVENARD, PRÉSIDENT.

Membre nouveau.

M. Jean-Jacques TRILLAT, présenté à la dernière séance, est proclamé membre de la Société.

Présentation.

M. Roger DANIEL, 26 rue de Paris, Montfort-l'Amaury, Yvelines, présenté par MM. C. Duval et R. Dupuis.

*
* *

En ouvrant la séance, M. P. CHEVENARD, président, fait part aux membres d'une note de M. E. RAGUIN, concernant un symposium de géochimie.

« Un symposium de géochimie sera organisé à Zurich du 10 au 15 août 1953, sous les auspices de l'Union Internationale de Chimie et la présidence du Dr Michael FLEISCHER (président local, C. BURRI).

La réunion sera consacrée aux deux thèmes suivants :

1) Le problème de l'organisation et de la diffusion de données géochimiques. Comptes rendus d'organismes s'occupant de la révision et de la compilation des données géochimiques existantes, de la compilation et des calculs des analyses de roches; etc.

2) Les recherches géochimiques dans le monde, avec un résumé des réponses reçues sur le questionnaire, et de comptes rendus individuels sur les travaux en cours dans divers centres.

Les séances scientifiques seront suivies d'un ou deux jours d'excursion sur le terrain.

Un programme complet sera envoyé sur demande ⁽¹⁾.

*
* *

Communications.

1° M. H. CURIEN : *La température de Debye du sodium.*

La bibliographie donne des valeurs très diverses pour la température de Debye du sodium : ces valeurs sont évaluées à partir de grandeurs physiques telles que la chaleur spécifique, la conductibilité électrique, le facteur de Debye-Waller de la diffraction des rayons X, et basées sur les hypothèses simplificatrices de Debye pour le spectre des fréquences. Mais, seule une connaissance parfaite, à toute température, du spectre des fréquences d'un cristal permet de décrire les propriétés thermodynamiques globales d'un solide. L'auteur a déterminé à partir des constantes élastiques le spectre des fréquences à 290° et 80° K. Il en déduit, pour les chaleurs spécifiques et le facteur de Debye-Waller, des nombres en bon accord avec l'expérience.

La discussion est animée par M. Orcel qui s'intéresse à la

(1) Pour tous renseignements s'adresser au Secrétaire : M. le professeur T. F. W. BARTH, Geologisk Museum, Oslo 45, Norvège.

structure du champ cristallin et par M. Mering, qui demande des précisions sur l'explication de la valeur élevée de la chaleur spécifique des alcalins à température ordinaire.

2° MM. F. KRAUT et J. PROUVOST : *Sur les gisements plumbo-incifères de la région de Nontron (Dordogne)*.

Les gisements de Saint-Martin-le-Pin, Nontron et Saint-hardoux-la-Rivière, constituent un ensemble plumbo-zincifère qui s'est mis en place dans des formations lithologiques très différentes. Le faciès du minerai varie avec la nature de la roche encaissante. L'examen microscopique permet d'entrevoir quelques aspects du mécanisme de la minéralisation.

Après sa communication M. Kraut propose qu'une discussion ultérieure ait lieu sur les problèmes de structurologie. M. Orceel montre l'intérêt d'une telle discussion et W. Wyart demande que soient précisées les notions de symétrie en structurologie.

3° M. ELLER : *La structure cristalline du chlorhydrate de paratoluidine*.

Le chlorhydrate de paratoluidine ($\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$) HCl cristallise dans le système monoclinique, avec 4 molécules par maille. Groupe spatial P $2_1/c$. Paramètre : $a = 9,07 \text{ \AA}$, $b = 9,33 \text{ \AA}$, $c = 9,86 \text{ \AA}$, $\beta = 108,7^\circ$. Les clichés de rayons X ont apparaître quelque 1.300 réflexions hkl dont seules les h0l, 0kl et hk0 ont été utilisées pour la recherche des positions atomiques par les méthodes de l'atome lourd (clichés de PATTERSON), d'essai et erreur (clichés de FOURIER-BRAGG) et de séries « différence » (clichés de FOURIER-COCHRAN) et pour les calculs de facteurs de structure. Ces positions sont correctes à $\pm 0,01 \text{ \AA}$ près. Les ions « chlore » sont ordonnés suivant des doubles couches de faible épaisseur dans lesquelles s'implantent par l'azote les molécules planes, légèrement allongées de paratoluidine.

La structure a été résolue presque entièrement par voie optique au moyen du photosommateur harmonique.

M. Chevenard félicite tous les auteurs des communications variées de cette séance et montre l'intérêt des travaux théoriques et expérimentaux nés de la minéralogie dont le rôle a été capital dans l'évolution des sciences et dans le progrès des techniques industrielles.

Ce thème sera développé plus largement dans le Bulletin spécial que nous avons l'intention de publier à l'occasion du 75^e anniversaire de la Société.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1953. — BULLETIN D'OCTOBRE-DÉCEMBRE.

Séance du 11 juin 1953.

PRÉSIDENTE DE M. J. GARRIDO, VICE-PRÉSIDENT.

Membre nouveau.

M. Roger DANIEL, présenté à la dernière séance est proclamé membre de la Société.

*
* *

En ouvrant la séance, M. GARRIDO, vice-président, souhaite la bienvenue à M. le Dr PALM, de l'Université d'Utrecht, puis fait part aux membres présents de la circulaire concernant le Congrès de Minéralogie et de Cristallographie de Lyon, en septembre 1953.

Présentations d'ouvrages.

1. — *La naissance de la cristallographie en France au XVIII^e siècle*, par R. HOOYKAAS (Les conférences du Palais de la Découverte, série D, n° 21, 1953).
2. — *Computing methods and the phase problem in X-ray crystal analysis*, par R. PEPINSKY, publié par The X-ray Crystal Analysis Laboratory, Department of physics, The Pennsylvania State College, Pa., U. S. A., 1952.
3. — *Tables for Conversion of X-ray diffraction angles to interplanar spacing*, National Bureau of Standards, Applied

Mathematics Series, 10, United States Government Printing Office, Washington 25, D. C., 1950.

Présentation d'échantillons.

M. J. GARRIDO présente des échantillons provenant du Mexique et du Pérou : de très beaux cristaux d'*apatite* de Cerro Mercado, de *rubellite* de Quérétero, des *opales* de cette même localité, des échantillons d'*adamite* très pure de Sonbrerete (Zacatecas, localité nouvelle), de *cuproscheelite* de la Guadalupeana (*Chihuahua*), de *brunkite* (sulfure de zinc blanc) et une collection de minéraux de vanadium de Minasragra Pasco (Pérou), en particulier les espèces suivantes : *patronite*, *rizopatronite*, *pascoïte*, *mélanovanadinite*, *fernandinite* et un *ocre vanadifère*.

M. J. Garrido présente également des produits de la dernière éruption du volcan Parícutin et quelques objets archéologiques d'obsidienne qu'il a recueilli au cours de son voyage au Mexique.

Communications.

1^o M. A. PALM : *Méthode simple de détermination des valeurs angulaires des gradations de l'oculaire micrométrique en lumière convergente.*

L'auteur montre comment on peut, à l'aide de la projection stéréographique et d'un dispositif expérimental très simple, mesurer l'ouverture de l'objectif d'un microscope.

2^o MM. J. GONI, C. GUILLEMIN et PERRIMOND : *Formation d'espèces minérales sur des jâs d'ancres romaines immergées.*

Les auteurs décrivent les espèces formées : anglésite, cérisite, penfieldite, phosgénite et étudient leur paragenèse.

3^o MM. J. GONI et C. GUILLEMIN : *Nouvelles données sur les sélénites et séléniates naturels.*

Les auteurs donnent une nouvelle description de l'espèce kersténite et décrivent différentes propriétés de la molybdénite et de l'ahfeldite.

A la suite de ces communications, M. Garrido demande aux auteurs s'ils ont pu effectuer une étude de ces minéraux aux rayons X.

4° M. J. BARRAUD : *Influence d'extraits biologiques sur la cristallisation par voie humide de substances minérales. Derniers résultats.*

Du sang hémolysé est ajouté à une solution de CuCl_2 . Quelques gouttes du liquide sont déposées sur une lame de verre optiquement plane et bien nettoyée. On laisse cristalliser à l'étuve à 30°. On détermine la concentration minimum de sang qui provoque la cristallisation « en nappe ».

M. Matschinski signale à l'auteur que le Goetheanum de Cornach (Suisse) continue à publier dans son bulletin de nombreuses études sur les cristallisations sensibles et leur utilisation en médecine, en botanique, en agronomie, etc.

5° M. RAVAILLE : *Description d'une chambre à rayons X pour la mesure des grandes distances réticulaires. Application à l'étude de quelques roches et minéraux argileux.*

Une méthode par réflexion, utilisée par Brindley, permet, grâce à une propriété focalisante du montage, d'obtenir les raies 00 l des silicates phylliteux, en posant cinq minutes. Les raies correspondant aux grandes distances réticulaires sont aisément pointées (la raie à 14 Å de la chlorite, est à 3,5 mm. du centre du cliché). Cette chambre peut rendre de grands services pour l'identification des roches argileuses.

L'auteur présente de nombreux diagrammes obtenus avec cette chambre.

6° M. G. DEICHA : *A propos de reliquats magmatiques dans les quartz de première consolidation des roches éruptives à leur temps de cristallisation.*

Après avoir donné les résultats de ses observations microscopiques sur les inclusions vitreuses, l'auteur souligne les avantages d'une expérimentation directe sur ces témoins de pétrogenèse : la fusion de la matière vitreuse emprisonnée

permet l'observation du comportement de magmas et lavés « réanimés » en présence de leurs constituants fugaces naturels.

Cette communication est illustrée de projections de microphotographies ; la discussion est animée par : M. Matschinski, qui cherche à traiter les amas cristallins arrondis qui apparaissent dans le verre de certaines inclusions comme des formations sphérolitiques⁽¹⁾ ; MM. J. Goñi et F. Kraut, qui relèvent l'aspect particulier de la répartition des inclusions dans le cristal.

M. G. Deicha précise que la répartition des « cristaux négatifs » est assez analogue à celle des figures de corrosion et pense que des phénomènes de corrosion interne du cristal contenant les inclusions par le magna inclu ont pu accentuer l'aspect géométrique d'ensemble.

Séance du 12 novembre 1953.

PRÉSIDENCE DE M. P. CHEVENARD, PRÉSIDENT.

Présentation.

M. P. COISSET, chef du Laboratoire de la Division des Mines et de la Géologie, Rabat, Maroc présenté par MM. Gaudefroy et Permingeat.

M. TH. DE CICHOCKI, chimiste principal, Laboratoire de la Division des Mines et de la Géologie, Rabat, Maroc, présenté par MM. Gaudefroy et Permingeat.

M. A. JEANNETTE, Ingénieur civil des Mines, Section d'Étude des gîtes minéraux, Service Géologique, Rabat, Maroc, présenté par MM. Gaudefroy et Permingeat.

M. J. DESTOMBES, géologue, Section d'Étude des gîtes minéraux, Service Géologique, Rabat, Maroc, présenté par MM. Gaudefroy et Permingeat.

M. Albert BAGUETTE, Ingénieur des Mines de Liège, 7, rue Lyautey, Paris, présenté par MM. Blondel et Raguin.

(1) *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.* (1952), LXXV, 161-5.

M. Jean-Gérard DURAND, 3, avenue de la République, Ganat, Allier, présenté par MM. Roques et R. Michel.

M. N. F. M. HENRY, Department of mineralogy, Cambridge, Angleterre, présenté par MM. Wyart et Rose.

M. Mosé BALCONI, Viale Libertà 24, Pavia, Italie, présenté par MM. Chevenard et Rose.

M. Giuseppe SCHIAVINATO, Professeur, Istituto di Mineralogia dell'Università, Bari, Italie, présenté par MM. Chevenard et Rose.

M. SAINFELD, Ingénieur géologue, Direction Générale des Travaux publics et des Mines, Tunis, Tunisie, présenté par MM. Guillemin et Roques.

M^{me} Antoinette MONITION, Laboratoire de la Division des Mines et de la Géologie, Rabat, Maroc, présenté par MM. Gausfroy et Permingeat.

M. P. BELLAÏB, Directeur des Études Scientifiques, Institut des Hautes Études de Tunis, Direction de l'Instruction publique en Tunisie, 8, rue de Rome, Tunis, présenté par MM. Wyart et Barrabé.

M. Georges KULBICKI, Assistant, Laboratoire de Minéralogie, Faculté des Sciences, Toulouse, Haute-Garonne, présenté par MM. Capdecombe et Orliac.

LABORATOIRE DU CERCHAR, à Verneuil, Oise, boîte postale 27, à Creil, présenté par MM. Friedel et Fischesser.

*
* *

En ouvrant la séance, M. CHEVENARD, Président, fait part à ses membres :

1^o de la séance solennelle qui aura lieu à l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S. le 10 décembre 1953 en l'honneur du centenaire de la naissance de l'éminent cristallographe russe FEDOROFF, élu membre d'honneur de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie en 1912 ;

2^o du décès de M. le Professeur S. STEVANOVITCH, de Belgrade, membre de notre Société depuis 1922. M. Chevenard

se fait l'interprète de tous les membres de la Société pour adresser à la famille de M. Stevanovitch l'expression de nos plus sincères condoléances ;

3° de l'intérêt d'une collaboration des membres de notre Société avec la Confédération des Travailleurs Intellectuels de France. Cet organisme a pour but non seulement la défense professionnelle, économique et sociale des travailleurs intellectuels qu'ils soient salariés ou indépendants, mais également la défense de l'intellectualité française sous toutes ses formes (1).

4° de la parution d'une nouvelle revue, *Naturalia*, consacrée aux sciences naturelles, présentée et illustrée avec des planches en couleurs. Cette publication, destinée au grand public, est contrôlée sur le plan rédactionnel par l'Association française des Sociétés de sciences naturelles. Les membres de notre Société sont invités à y participer, à présenter, dans le cadre d'une large diffusion, des mémoires traitant de minéralogie et de cristallographie.

Présentation d'ouvrage.

Les Minéraux et les Roches, de H. BUTTGENBACH, membre d'honneur de notre Société. Cet ouvrage fera l'objet d'un extra bibliographique dans un prochain *Bulletin*.

*
* *

Avant que la parole soit donnée à M. Guitard, M. BOUBÉE au nom de tous les membres de notre Société, félicite chaleureusement notre Président, M. Chevenard, à qui vient d'être attribué pour l'ensemble de ses travaux, la médaille Gustave TRASENSTER, instituée en 1932 par l'Association des Ingénieurs de Liège et dont le premier titulaire a été le célèbre savant Henry Le Chatelier.

*
* *

(1) Pour tous renseignements s'adresser à : M. M. DABINCOURT, Secrétaire Général, Confédération des Travailleurs intellectuels de France, 12, rue Henner, Paris, 9^e.

Présentations d'échantillons.

MM. François et, Gérard GUITARD présentent quelques espèces provenant de gisements récemment découverts dans les Pyrénées-Orientales et étudiés par le B. R. G. G. Ces gîtes existent au contact des granites hercyniens post-tectoniques avec les calcaires cambriens (gîtes dits pyrométasomatiques).

Espèces primaires : *scheelite* : en masse, et en cristaux (1 à 3 cm) d'habitus octaédrique. Pic de Costabona (Font Negra et Solaneta) ; *molybdoscheelite* : en masse et en cristaux. Pic de Costabona ; *bismuthinite* : prismes aciculaires (4 cm.). Pic de Costabona (Font Negra ; el Turun) ; *molybdénite* : Pic de Costabona (el Turun) ; *löllingite* : cristaux (6 mm.) Roca Jalera près Amélie.

Espèces secondaires : *powellite* $\text{Ca}(\text{MoO}_4)$ lamelles nacrées (pseudomorphose de molybdénite), Pic de Costabona ; *hématite* : rhomboèdres cuboïdes dans dolomie (1 cm.). Pic de Costabona (Fra Joan) ; *greenockite* : (CdS) enduits jaune canari sur blende. Roca Jalera près Amélie ; *hétérogénite* : $(\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{CuO} \cdot \text{H}_2\text{O})$ enduits et masses globuleuses opaques, noir de poix, ravin de Peyrefeu près la Preste ; *mixite* : $(\text{Cu}_{11} \text{Bi} (\text{AsO}_4)_5 (\text{OH})_{10} \cdot 6 \text{H}_2\text{O})$ petits agrégats en touffe jaune vert sur quartz, ravin de Peyrefeu près la Preste.

A l'exception de la molybdénite (Font y Sagné, 1910), toutes ces espèces sont nouvelles dans ces gisements. Elles feront l'objet d'une étude détaillée. La powellite, la mixite, et l'hétérogénite n'étaient pas connues en France.

Communications.

1° M. Zivko MIHAÏLOVIC : *Utilisation des cristaux semi-conducteurs à la détection de rayons X de 4 à 45 KV.*

L'auteur présente un appareil dans lequel des monocristaux semi-conducteurs (ZnS , CdS , AgI , AgCl et LiF) sont utilisés comme détecteurs de rayons X. Une tension de polarisation est appliquée sur le cristal irradié.

Le courant photoélectrique de l'ordre de 10^{-9} à 10^{-11} ampère

est mesuré après un amplificateur à courant continu en fonction du potentiel appliqué au tube à rayons X (4 à 45 KV), du débit électronique du tube et de la tension de polarisation appliquée sur le cristal (4,5 à 90 V.).

L'enregistrement des faisceaux diffractés par des cristaux de NaCl a été obtenu avec ce montage : surface du cristal détecteur irradié 1 à 20 mm² ; rayonnement du molybdène et du cuivre filtré et non filtré.

Bien que la sensibilité et la fidélité dépendent de l'échantillon, des résultats quantitatifs ont été obtenus. Grâce à son faible encombrement et sa légèreté ce détecteur se prête à des montages très variés.

La discussion est animée par M. Legrand qui demande des précisions sur le pouvoir séparateur de l'appareil, MM. Wyart, Curien et M^{me} A. R. Weill.

2^o M. G. SABATIER : *Une nouvelle chambre à rayons X pour l'étude des raies en retour. Application au quartz.*

L'auteur présente un appareil, construit à l'atelier du Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, et destiné à l'étude de la diffraction des rayons X par une poudre cristalline dans un domaine angulaire de Bragg allant de 50° à 85°. Il s'agit d'une chambre à focalisation dont la construction s'inspire du montage de Rowland employé en optique pour l'observation des spectres donnés par les réseaux concaves. La dispersion obtenue est celle d'une chambre Debye-Scherrer de 50 cm. de diamètre et l'appareil se prête à des mesures absolues de paramètres avec une précision de l'ordre du 1/10.000^e

L'auteur projette des clichés obtenus avec des échantillons de quartz où l'analyse thermique avait montré des anomalies de la transformation $\alpha \rightleftharpoons \beta$. Ces anomalies se traduisent par un élargissement et parfois un déplacement des raies correspondant à une augmentation des dimensions de la maille de l'ordre du 1/1.000^e d'angström.

Cette communication est suivie d'une discussion animée par M. Wyart qui souligne l'intérêt de l'étude du quartz dont les cristaux ont longtemps passé pour parfaits, et par M. Laval

ni s'intéresse à l'origine des anomalies observées. Prennent également la parole MM. Barraud, Goñi et enfin M. Thevenin qui indique que des recherches sur l'influence du broyage sur la transformation $\alpha \rightleftharpoons \beta$ du quartz ont été récemment faites dans les Laboratoires des Charbonnages de France.

3^e M. C. KURYLENKO : *Les étudiants russes au Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne et à la Faculté des Sciences de Paris.*

M. Kurylenko présente une statistique des étudiants russes venus travailler au Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne et à la Faculté des Sciences de Paris.

Ils se partagent en trois groupes : 1) boursiers d'État avant 1914 ; 2) étudiants mobilisés en 1914-1917, dont une partie se trouvait en France vers 1920 ; 3) de 1920 à 1939, on compte 98 étudiants répartis selon les disciplines scientifiques suivantes : chimie 34 %, géologie 30 %, géographie physique 13 %, sciences naturelles 14 %, divers 7 %.

M. Chevenard, Président, fait remarquer l'intérêt des appareils présentés et félicite chaleureusement tous les auteurs.

Séance du 10 décembre 1953.

PRÉSIDENCE DE M. R. HOCART, VICE-PRÉSIDENT.

Membre nouveau.

MM. A. BAGUETTE, M. BALCONI, P. BELLAI, Th. DE CICHOCKI, J. COISSET, J. DESTOMBES, J. G. DURAND, M. F. M. HENRY, J. JEANNETTE, G. KULBICKI, M^{me} A. MONITION, MM. SAINFELD, J. SCHIAVINATO et le LABORATOIRE DU CERCHAR présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentations.

M. JACQUES ESQUEVIN, Laboratoire des Sols, 61, rue Buffon, Paris, 5^e, présenté par M^{lle} Caillère et M. Hénin.

M. Jacques LUCAS, Ingénieur E. N. S. G. Nancy, Service Géologique du Maroc, Rabat, Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

M. François TORTOCHAUX, Ingénieur-Docteur, Bureau de Recherches et de Participations Minières, B. P. 99, Rabat Maroc, présenté par M. l'abbé C. Gaudefroy et M. F. Permingeat.

*
* *

Présentations d'ouvrages.

1. — « Labo 53 ». *Manuel d'appareils de laboratoire, d'instruments scientifiques et techniques*, édité par O. P. F., Paris 1953.

2. — *Radex Rundschau*, Heft 7-8, août-septembre 1953, présenté par M. Jourdain.

3. — *Données récentes sur quelques gisements manganésifères de Russie*, traduit et présenté par R. Zvéreff.

*
* *

Communications.

1^o MM. J. CHERVET et G. BRANCHE : *Nouvelles espèces uranifères françaises*.

Les auteurs présentent l'étude de nouveaux minéraux uranifères français : uranocircite, sabugalite, salééite, zippéite, billiétite, tyuyamunite, sharpite, schroeckingerite. Pour tous ces minéraux, ils donnent les caractères cristallographiques optiques et pour certains, les analyses chimiques quantitatives. La plupart de ces espèces sont très rares.

A la suite de cette communication, M. Chervet précise, à la demande de M. Goñi que les spectres de diffraction X sont en cours d'exécution. M. Orcel signale la difficulté d'obtention des spectres de quelques espèces.

2^o M. A. J. RICHARD : *Structure de l'acétaldéhyde à — 140° C*

Une technique de basse température a fourni des monocristaux orthorhombiques d'acétaldéhyde ($T = -123,3^{\circ} \text{C}$). La structure a été résolue, à partir des diagrammes de Weissen

berg, par l'interprétation de la fonction de Patterson à trois dimensions et précisée, sur les projections, par la méthode des séries différence. L'auteur a pu ainsi localiser les atomes d'hydrogène, dont la densité électronique observée est en accord quantitatif avec la densité théorique.

M. Wyart fait remarquer la courte distance C — C (1,47 Å) trouvée par l'auteur. Cette distance et d'autre part la longue distance C = O (1,25 Å) seraient peut-être une explication de la grande facilité à la polymérisation de ce corps.

Prennent également part à la discussion : MM. Grison, Kurylenko, Rimsky et M^{lle} Stora.

3° MM. F. KRAUT et J. GONI : *Contribution à l'étude des minéraux des sables à l'aide de la platine de Fédoroff.*

Les auteurs étudient les minéraux des sables en lames minces. Ces préparations permettent une détermination précise notamment à l'aide de la platine de Fédoroff.

M. Orcel souligne la précision du travail des auteurs.

4° M^{me} M. TOURNAY : *Méthode de dosage quantitatif du niobium et du tantale par spectrographie X d'émission.*

L'auteur expose le principe de la méthode et donne une application au dosage simultané du Nb et du Ta dans les scories de cassitérite : on peut déterminer jusqu'à 0,5 % de Ta₂O₅ et de Nb₂O₅, sans concentration préalable du minerai, avec une erreur relative de 5 à 10 %.

Prennent part à la discussion : M. Orcel qui demande des renseignements sur le degré d'homogénéité de la matière première et signale d'autres cas où cette méthode aurait des applications intéressantes ; MM. Urbain, Kurylenko et Sandréa qui comparent cette méthode à la spectrographie en lumière naturelle, et M. Robin qui signale comme autre méthode de dosage possible, dans ce cas, la spectrocolorimétrie dans l'ultra-violet.

M. Hocart remercie vivement les auteurs de leurs intéressantes communications.

**Soixante-quinzième anniversaire
de la Société française
de Minéralogie et de Cristallographie.**

COMPTE RENDU DU CONGRÈS DE LYON, 25-29 SEPTEMBRE 1953.

Le Congrès organisé par M. Chevenard, président de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie, et par M. H. Longchambon, professeur de Minéralogie à Lyon, s'est tenu dans cette ville, du 25 au 29 septembre 1953.

La séance d'ouverture au Grand Amphithéâtre de la Faculté des Sciences était honorée de la présence de M. Allix, recteur de l'Université, de M. le doyen Douin et de M. Dupouy, directeur du C. N. R. S.

En ouvrant cette séance, M. Chevenard rappelle le but de ce Congrès et du Bulletin spécial qui doit paraître prochainement : « Mettre en lumière les principaux aspects scientifiques de la Minéralogie et de la Cristallographie, en souligner l'importance pratique pour les innombrables applications qui ressortissent de l'architecture atomique de la matière. »

Il remercie chaleureusement M. le Recteur de l'Université et M. le Doyen « d'avoir réservé à notre Société la confortable et cordiale hospitalité lyonnaise » ; il remercie tout particulièrement M. le Directeur du C. N. R. S. : « Grâce à sa foi dans les destinées de la Minéralogie, à ses conseils, à son appui, M. Dupouy aura contribué pour une très grande part à la réussite de nos ambitions ». Il remercie également M. H. Longchambon « Deus ex machina » de ce Congrès, et tous ceux qui y ont pris une part active.

Puis, M. Chevenard adresse ses meilleurs souhaits de bienvenue à tous les artisans de cette œuvre collective, aux minéralogistes éminents de Grande-Bretagne, d'Italie, d'Espagne, de Belgique, de Suisse, du Portugal, de Yougoslavie, à ceux qui représentent les Écoles françaises du Muséum, de la Sor-

bonne, d'Alger, de Lyon, de Nancy, de Strasbourg, de Toulouse, aux représentants des Sociétés techniques et savantes dont les organes ont annoncé ce Congrès et transmis à leurs membres notre cordiale invitation à y participer : Société des Industries minérales, Société des Ingénieurs Civils, Société française de Métallurgie, Société française de Physique.

Il rappelle ensuite que beaucoup d'argent sera nécessaire pour que notre Bulletin spécial reflète exactement et sans lacune l'état actuel des connaissances en minéralogie et en cristallographie, pour qu'il en éclaire la portée immense. « Certes de grands organismes officiels et privés, de grandes sociétés industrielles nous ont envoyé des sommes importantes. D'autres subventions sont escomptées et même promises. Mais il nous faut également solliciter les générosités individuelles ; toute obole sera reçue avec reconnaissance, car elle prouvera de manière touchante l'attachement de nos collègues à notre chère Société. »

Il conte comment, en 1903, tout frais nommé bachelier en cette Université de Lyon, il eut la chance d'acheter pour quelques sous, grâce à la libéralité involontaire d'un bouquiniste, un vieil ouvrage, signé d'un nom obscur, qui l'a initié à la minéralogie et lui a beaucoup appris. Son attrait pour notre belle Science s'est fortifié avec les années et il est sincèrement heureux de contribuer à la servir.

« N'est-elle pas l'une des plus achevées, sinon la plus achevée des sciences expérimentales car, dotée dès l'origine de techniques précises et puissantes et pourvue d'une théorie satisfaisante, elle peut avancer à pas de géant par les acquisitions de l'expérience et les conquêtes de la déduction. Elle peut prétendre à servir de modèle à d'autres disciplines car, les conférences des savants que nous allons applaudir vont le rappeler, elle se révèle aussi féconde pour l'avancement de la science en général que pour le progrès des applications. »

Le Président se réjouit sans réserve de voir tous ces aspects philosophiques, scientifiques et techniques évoqués au cours de ce Congrès, pour être largement traités au sein du Bulletin spécial, par les représentants les plus qualifiés de la minéra-

logie française. Il souhaite à ces exposés le retentissement qu'ils méritent, et il remercie les participants des efforts, qui aboutiront à « hausser la minéralogie et sa fille la cristallographie sur un piédestal à leur mesure ».

Conférences du vendredi 25 septembre 1953.

- 1) M. R. HOCART : *La Société française de minéralogie de 1928 à 1953.*

Avec le développement des méthodes modernes d'étude des solides, la Société a vu s'accroître le développement de son effectif et de ses publications. De nombreuses recherches ont été facilitées grâce à l'appui du C. N. R. S.

Après un hommage rendu à l'œuvre des maîtres disparus au cours de ces vingt-cinq années, M. R. Hocart relate quelques exemples typiques de travaux publiés dans le Bulletin. Leur diversité s'étend de la cristallographie géométrique et physique à la pétrographie. Des discussions très fécondes ont été provoquées par certains problèmes tels que la détermination des argiles ou tels que le rôle de l'eau dans la synthèse des minéraux et des roches.

- 2) M. H. LONGCHAMBRON : *Contribution de la minéralogie et de la cristallographie aux progrès de la science du point de vue général.*

M. H. Longchambon, dans un bref historique des travaux de Romé de l'Isle et d'Haüy, montre la cristallographie élaborant le critère géométrique d'espèce dans le monde minéral, bien avant que le critère de la composition chimique ait pu être dégagé. L'un et l'autre sont des aspects de la discontinuité de la matière et des règles régissant cette discontinuité. S'ils se superposent dans un grand nombre de cas, ils sont cependant distincts, notamment par les hypothèses structurales auxquelles ils conduisent : structure à périodicité réticulaire pour le premier, structure atomique pour le second.

orsque les paramètres spatiaux de la cristallographie, déterminés en valeur absolue, pourront être confrontés avec les paramètres pondéraux de la chimie, la masse des atomes dans le cadre de l'hypothèse réticulaire et à la lumière du rayonnement X, la jonction de ces deux aspects ouvrira un champ immense à la découverte : détermination des structures cristallines, connaissances des propriétés intervenant dans l'association des atomes, connaissance des phénomènes énergétiques à caractère périodique. Les principes et les techniques de la cristallographie deviennent ainsi primordiaux pour l'étude de la chimie minérale, de la physique du solide.

L'hypothèse du réseau-période de Bravais prend place à côté d'hypothèses comme celle de Newton, d'Huyghens, de Louis de Broglie, pour exprimer une réalité profonde du monde dans lequel nous vivons. Elle ne cessera pas de contribuer à son interprétation.

Après avoir remercié chaleureusement M. Hocart et M. Longchambon, M. Chevenard fait part aux congressistes du télégramme de félicitations adressé par le président Marobbi, au nom de la Société italienne de Minéralogie.

Puis il propose qu'à l'occasion de ce 75^e anniversaire, M. Ch. Mauguin soit nommé membre d'honneur de notre Société ; cette proposition, adoptée à l'unanimité, sera ratifiée par la prochaine Assemblée générale.

Avant que la séance ne soit levée, M. le recteur Allix adresse ses remerciements à M. Chevenard et à M. Longchambon, et ses vœux de succès aux travaux des congressistes.

M. Dupouy renouvelle ses encouragements à tous ceux qui par un effort continu tentent de donner, à la Minéralogie et à la Cristallographie, la place importante qu'elles méritent.

Tous les participants furent ensuite conviés à la réception organisée par M. le Recteur de l'Université de Lyon.

Conférences du samedi 26 septembre 1953.

- 1) M. H. CURIEN : *Quelques aspects cristallographiques des développements modernes de la physique des solides.*

Un des premiers livres de physique cristalline est celui de Voigt (1910). C'est un livre de mathématiques ou plutôt d'analyse tensorielle. La physique cristalline n'a pris vraiment son aspect moderne que depuis qu'elle peut s'appuyer sur la détermination de la structure atomique des solides. La connaissance du champ de forces qui règne à l'intérieur des cristaux est un des buts que cherchent à atteindre physiciens et cristallographes. Cette connaissance permettrait d'expliquer et de calculer un grand nombre de propriétés mécaniques et thermodynamiques des solides. Pour ces études, le cristal est supposé parfait, d'autres études, qui tendent à se développer de plus en plus, ont pour objet les imperfections cristallines et les très nombreuses propriétés intéressantes qu'elles conditionnent : couleur, phosphorescence, propriétés des semi-conducteurs, aptitude à la croissance.

Enfin, la découverte et l'étude de quelques « monstres cristallographiques » aux propriétés tout à fait exceptionnelles ont fait progresser la science et la technique par bonds. Qu'il s'agisse des corps ferro, ferri et antiferromagnétiques ou des corps ferro et piézoélectriques.

- 2) M. J. FARRAN : *Géotechnique et minéralogie.*

La géotechnique peut être définie comme l'ensemble des connaissances et des méthodes empruntées à la géologie, la minéralogie et à l'art de l'Ingénieur en vue de la construction, qu'il s'agisse de grands travaux ou de la réalisation de matériaux artificiels.

Le rôle du minéralogiste dans ce domaine a été souvent mal individualisé et confondu avec celui du géologue, mais lorsque les ingénieurs, pour diminuer leurs prix de revient, ont voulu réduire les coefficients de sécurité en utilisant toutes les possibilités de la matière, ils ont réalisé la nécessité de

études minéralogiques donnant des indications précises sur la nature et la structure fine des matériaux.

L'exemple des bétons montre à quel point leur examen au niveau de la phase minéralogique du ciment ou de la roche et même les préoccupations géométriques à l'échelle de l'interaxe réticulaire peuvent être fructueuses et permettre d'atteindre une cohésion approchant celle de la matière naturelle. De même l'étude de l'altération des roches met en évidence l'importance de la nature des minéraux constituants et de leur taux de fissuration, notions essentiellement minéralogiques. De nombreux autres exemples peuvent être fournis par les interventions efficaces de la minéralogie en géotechnique ; aussi l'échelle d'observation et d'étude qui va de l'angström jusqu'aux dimensions macroscopique des échantillons retient-elle de plus en plus l'attention de l'Ingénieur de Génie civil.

) P. LACOMBE : *Cristallographie et métallographie*.

Osmond, créateur de la métallographie microscopique, fut aussi cristallographe en prévoyant l'existence des variétés allotropiques du fer et de ses solutions solides avec le carbone, le chrome et le nickel et en étudiant la déformation plastique et la rupture par clivage du fer. Ses prévisions furent confirmées 20 à 30 ans après par la diffraction des rayons X. Celle-ci précisa la notion de solution solide, découvrit les microstructures et établit surtout les relations d'orientation entre les phases d'un alliage. L'exemple de la transformation martensitique des aciers est traité plus particulièrement en comparant au point de vue cristallographique les résultats fournis par les rayons X et l'examen micrographique. Ces résultats ont permis de classer les réactions dans l'état métallique au point de vue de leur mécanisme cristallographique en transformations par germination et croissance et en transformations sans diffusion.

La fécondité des méthodes de diffraction aux rayons X ne doit pas cependant faire négliger les méthodes microscopiques classiques qui s'inspirent de plus en plus de celles du miné-

ralogiste. Des exemples sont donnés de l'application de figures de corrosion et de l'emploi de la lumière polarisée. L'étude cristallographique de la recristallisation et de la déformation plastique.

- 4) M. L. LONGCHAMBON : *Contribution de la minéralogie au progrès des réfractaires et des industries du feu* (conférence présentée par M. J. Bolfa).

Les hautes températures mettant en question la stabilité des matériaux, les variations de températures font intervenir les changements allotropique et les coefficients de dilatation. Enfin, à côté de ces phénomènes physiques les réactions des constituants ou des corps en contact tendent à créer des combinaisons nouvelles et font de l'Industrie du Feu une vaste entreprise de synthèse minérale intermédiaire par l'importance de ses possibilités entre la synthèse de laboratoire et la synthèse géologique.

L'auteur montre, par l'exemple des briques de silice, comment le minéralogiste applique les méthodes du physicien à un corps solide hétérogène. Il rappelle ensuite comment la synthèse minérale entre les mains de Henri Sainte-Claire de Villiers a doté l'Industrie du Feu d'un produit exceptionnel, le ciment réfractaire.

- 5) M. PIGANOL : *Minéralogie et industries chimiques.*

La minéralogie a apporté aux industries chimiques, d'abord des minerais et des minéraux de base, sans lesquels il n'y aurait pas de grosses industries chimiques et ensuite les méthodes d'identification des phases solides et cristallines qui se sont révélées précieuses, même en chimie organique.

D'autre part, la connaissance plus détaillée de l'arrangement des atomes et des molécules à l'intérieur des cristaux a apporté à la chimie organique deux notions fondamentales : elle a confirmé la structure des molécules géantes et elle a totalement éclairci le phénomène de la haute élasticité du caoutchouc.

Sur ces bases et en utilisant les remarquables travaux qui ont abouti à notre connaissance de la structure des silicates, le

organiciens ont pu élaborer toute une série de corps nouveaux, tels que les silicones, soit linéaires, soit tri-dimensionnels.

Enfin, de nombreuses applications de la minéralogie ont été faites par exemple dans les domaines de la précipitation ou de la filtration de certains composés chimiques. Les progrès obtenus ont été sensationnels, entre autre dans l'industrie de l'alumine, qu'il est délicat de précipiter sous une forme facilement filtrable.

L'auteur mentionne pour mémoire toutes les applications de la Minéralogie à l'étude des réactions entre solides.

M. J. ORCEL : *La Métallogénie.*

En préambule à sa conférence sur la Métallogénie, M. J. Orcel expose comment la minéralogie et la cristallographie se sont progressivement développées parmi les Sciences de la Terre. Il met en évidence l'unité qui existe entre leurs divers aspects, et les liens étroits qui les associent aux autres sciences de la Terre et aux sciences générales (physiques, physico-chimiques, chimiques, biologiques), ces dernières, d'ailleurs ayant pour origine l'étude des processus appartenant à l'écorce terrestre et à son enveloppe vivante.

La métallogénie, science des gîtes métallifères, profite, dans son développement, des autres sciences de la terre, et singulièrement de la minéralogie et de la géochimie. M. J. Orcel donne un schéma de sa physionomie actuelle, en insistant plus particulièrement sur l'étude des successions minérales dans les formations filoniennes ; sur l'importance théorique et industrielle de l'examen microscopique pour l'étude des microstructures caractéristiques des phases de minéralisation, et sur les données expérimentales et les reproductions artificielles de minéraux, utiles aux travaux du métallogéniste. Il indique enfin les perspectives qu'ouvrent à la prospection des gîtes métallifères, les méthodes de la géochimie et de la biogéochimie.

M. Chevenard adresse de vifs remerciements et de chaleureuses félicitations à tous les conférenciers qui ont su chacun

dans un domaine particulier montrer l'importance de la contribution de la minéralogie et de la cristallographie, aux progrès des sciences et des techniques et de vifs remerciements à tous ceux qui ont pris part aux discussions.

*
* *

Cette série de conférences fut suivie de visites d'usines et d'exploitations minières dans la région lyonnaise :

- les Tuileries et Briqueteries lyonnaises, à Limonest,
- les mines de pyrite de Saint-Bel,
- le laboratoire de M. le professeur Bernard et les industries des carbures pour outils et des métaux réfractaires,
- quatre exploitations minières, à Saint-Étienne,
- les laboratoires de recherches et les usines de produits chimiques de la Société d'électrochimie et d'électrometallurgie d'Ugine, à Pierre-Bénite,
- une usine de la Société des réfractaires « Savoie », à Vénissieux.

Ce programme assez chargé put être respecté grâce à l'effort d'organisation fait par toutes les entreprises visitées et aussi grâce à l'exactitude de tous les congressistes qui participèrent à ces dernières manifestations du Congrès.

La série des visites d'exploitations et usines commença le *dimanche matin 27 septembre*, par celle des installations des **Tuileries et Briqueteries lyonnaises**. Cette Société qui possède quatre usines fournit la moitié de la consommation de la région économique Rhône-Alpes et 90 % des besoins lyonnais. L'usine de Limonest reçoit la matière première de deux carrières voisines. La première qui occupe une vaste poche exploite une argile noire très plastique, que plusieurs congressistes ont pu dater approximativement grâce à l'identification de quelques fossiles.

L'extraction se fait à la pelle mécanique, mais des essais d'abattage par pression hydraulique sont en cours. La seconde carrière dont la terre de qualité moins plastique impose un

emploi en mélange est exploitée par raclage d'une chaîne à godets.

La fabrication est intégralement mécanisée et comporte essentiellement le broyage et le malaxage de l'argile, le pressage sur presse à six moules pour les tuiles et le filage pour les corps creux, le séchage en four tunnel et la cuisson dans un très grand four Hoffmann chauffé au charbon menu distribué par des cuiseurs automatiques.

Pilotés par M. LASSERE, directeur général, et MM. RICHARD et GONDONI, directeurs techniques, les congressistes furent vivement intéressés par cette installation très moderne et tout particulièrement par le filage des corps creux de grandes dimensions pour hourdis.

La visite se termina par la surprise d'une réception au cours de laquelle M. PITANCE, président de la Société, et M. LASSERE, directeur général, entretint les congressistes des problèmes sociaux, de l'effort de la Société dans ce domaine et des résultats heureux obtenus.

L'après-midi du dimanche 27 septembre fut consacré à la visite des **Mines de Sain-Bel**, qui alimentent en pyrite les usines de fabrication d'acide sulfurique de la Société de Saint-Gobain, à Saint-Fons.

Leur production de 220.000 tonnes couvre un quart de la consommation française (900.000 tonnes, dont 300.000 d'origine nationale).

M. MATHIEU, directeur, fit un exposé sur la nature du gisement, sur son exploitation, ses possibilités et sur le gros effort de prospection poursuivi par la Société pour délimiter un nouveau gisement susceptible de relayer Sain-Bel. Il s'agit d'un prolongement lointain du gisement de Chiseuil. Il a été étudié par une campagne couplée de mesures de résistivité et de sondages. L'exploitation est en préparation et doit commencer en 1955.

Puis M. DOUCET, géologue, donna des renseignements très complets sur les minéraux rencontrés, les observations au cours des travaux d'exploitation ou de recherche.

Les congressistes eurent le choix entre une visite des chantiers d'exploitation et celle des carrières situées au sud du gisement, carrières qui ne sont plus exploitées, mais où les caractères du gisement apparaissent nettement.

Une réception les réunit à la fin de ces visites qui se terminèrent tard dans la soirée.

Le lundi matin 28 septembre, M. le PROFESSEUR BERNARD reçut les congressistes dans son laboratoire, dont l'activité est orientée vers la physique du métal et les méthodes d'étude au microscope électronique et par diffraction X.

Les congressistes visitèrent ensuite, sous sa direction, deux industries lyonnaises :

- la **Société Allestra**, qui fabrique des carbures extra-durs de tungstène, de titane, et où ils ont pu voir la fabrication de l'oxyde de tungstène très pur, sa réduction, la synthèse du carbure et son agglomération, mettant en jeu un appareillage spécial, notamment de fours en atmosphère d'hydrogène ;
- la **Société Bocuze** dont une branche d'activité est la fabrication de métaux réfractaires, notamment du molybdène dont ils ont pu voir l'étirage par des procédés et un appareillage très spéciaux.

Le lundi après-midi fut occupé par une visite des **Houillères de Saint-Étienne** et, pour les congressistes ne voulant pas descendre dans les mines, par celle de la très belle collection de Minéralogie de l'**École des Mines**, présentée par M. NULTNER, directeur.

Les houillères de Saint-Étienne, dont le gisement exploité est maintenant très profond, ont dû faire un effort exceptionnel de concentration et d'équipement pour arriver à des prix de revient compétitifs. L'extraction est maintenant concentrée sur quatre puits. Divisé en quatre groupes, les congressistes ont vu respectivement :

- le puits **Couriot**, où l'exploitation de l'étage — 90 (profondeur 650 m) fut concentrée dès 1936.

Reçus par MM. PICOT, directeur du groupe et TATIN, ingénieur en chef, ils visitèrent des exploitations par grandes tailles à desserte par convoyeurs à chaînes, puis à bandes, jusqu'au point de chargement en bennes de 1.500 litres.

— le puits Pigeot (1941) qui assure la production des anciennes divisions de Montrambert et Flotard.

Reçus par MM. FOMBONNE, directeur du groupe Ricamarie, et CUCHET, ingénieur en chef, ils virent un quartier de grande bouche exploité par tranches horizontales à 776 m. de profondeur (un nouvel étage à 876 m. est en préparation).

— le puits Charles (1943), où ils ont été reçus par MM. TERRIER, directeur du groupe Firminy, et TARDIF, ingénieur en chef. Il s'agit d'un puits double desservant les étages 100 (470 m. de profondeur) et 11 (560 m.) avec bennes à grande capacité (3.000 l.);

— le puits Verpilleux, le dernier équipé (1952), suivant les mêmes conceptions que le puits Charles, et qui dessert actuellement les étages situés à 200 m. et 500 m. de profondeur.

Reçus par MM. VIDALINE et MICHEL, ingénieurs principaux, les congressistes virent deux tailles longues, foudroyées avec soutènement métallique, desserte par bandes en taille et jusqu'à la trémie de chargement des bennes de 3.000 l., un rouage jusqu'au puits par trains électriques de gros tonnages, encagement automatique aux recettes de puits permettant des débits très élevés. Il s'agit là d'exploitations ultramodernes, conduisant à un prix de revient très bas, malheureusement majoré par la nécessité de laver le charbon et par la différence importante entre le tonnage extrait et le tonnage marchand.

La dernière journée du Congrès (29 septembre) fut consacrée aux visites des usines de la Société d'Électrochimie et d'Électrométallurgie d'Ugine, à Pierre-Bénite et de sa filiale la Société des réfractaires Savoie, à Vénissieux.

Les usines de Pierre-Bénite fabriquent les produits fluorés

ainsi que l'eau oxygénée et les persels. Elles contiennent en outre un grand Laboratoire de recherche qui étudie des problèmes intéressant l'ensemble de la Société d'Électrochimie.

Reçus par M. REGNAULT, directeur de l'usine, M. VESSERAUX, directeur adjoint, M. LICHTENBERGER, directeur du Centre de Recherches de Lyon et du Bellay, directeur du Laboratoire de Physique, les congressistes visitèrent successivement :

- le Laboratoire où ils furent vivement intéressés par les dispositions très remarquables de l'appareillage d'étude des produits chimiques et notamment d'étude de produits peu maniables, tels que l'acide cyanhydrique et divers composés fluorés ;
- les installations de production de fluor par électrolyse et de synthèse du fréon ;
- les installations de concentration de la fluorine par flottation, de fabrication de l'acide fluorhydrique et des fluorures ;
- les ateliers de production de l'eau oxygénée par électrolyse et de concentration, de fabrication du perborate de soude, etc.

Une réception organisée par la Société d'Électrochimie d'Ugine termina cette très intéressante visite.

Les Usines de la **Société des réfractaires Savoie à Vénissieux** fabriquent pour l'industrie régionale tous les types de briques réfractaires et pisés, autres que les produits siliceux, notamment les produits alumineux, les dolomies et magnésies, le carborandum, le carbone.

Reçus par MM. TERESTCHENKO, directeur général, BLAISNE, directeur des usines, BONNOT, directeur chargé des recherches, DESSORS et MASSON, ingénieurs en chef, les congressistes visitèrent le Laboratoire, les installations de pressage des briques, les fours de cuisson, ainsi que les nouvelles installations en cours d'achèvement.

Ces visites et ces excursions laissèrent le meilleur souvenir à tous les participants, qui remercièrent chaleureusement tous les organisateurs.

